

# НАУКА

из первых рук

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

6<sup>(42)</sup>  
● 2011

КАК РАБОТАЕТ  
МАНТИЯ ЗЕМЛИ

АНТИТЕЛА  
ПРОТИВ  
КАНЦЕРОГЕНОВ

ЛАТУХИНСКАЯ  
СТЕПЕННАЯ  
КНИГА

РАСШИФРОВАН  
ГЕНОМ  
БОРРЕЛИИ



## Семь веков РОССИЙСКОЙ ИСТОРИИ



«...имея Сибирского океана оба концы и целый берег в своей власти, не боясь никакого препятствия в поисках от неприятеля и положив на то уже знатные иждивения с добрыми успехами, оставляем все втуне, не пользуемся божеским благословением, которое лежит в глазах и в руках наших тщетно; и содержа флоты на великом иждивении, всему государству чувствительном, не употребляем в пользу, ниже во время мира оставляем корабли и снаряд в жертву тлению и людей, к трудам определенных, предаем унынию, ослаблению и забвению их искусства и должности»

(М.В. Ломоносов. Полн. собр. соч., 1952, т. 6, с. 498)

К рукописи М. В. Ломоносова «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» прилагалась полярная карта, на которой пунктирными линиями были предложены маршруты экспедиций по отысканию морского северного прохода в Азию.

Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

На первой стороне обложки: Патриарх Гермоген отказывает полякам подписать грамоту о признании польского королевича Владислава.

Худ. П. Чистяков. 1860. Холст, масло.

Научно-исследовательский музей Российской Академии художеств (Санкт-Петербург)

**6.** 2011  
научно-популярный журнал



# НАУКА

из первых рук



## В НОМЕРЕ:

Первое издание Латухинской Степенной книги – обширнейшего свода отечественной истории, бывшего настольной книгой Н. М. Карамзина, было подготовлено только через 333 года после ее создания в 1678 г.

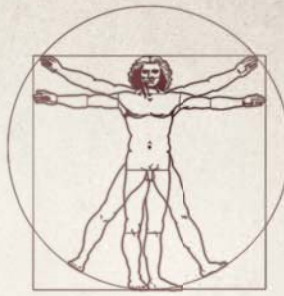
Восходящие из глубин планеты неподвижные струи горячей материи оставляют на ее поверхности след в виде вулканических цепей, по которому возможна реконструкция «дрейфа» континентов

Расшифрован полный геном возбудителя клещевого боррелиоза, или болезни Лайма, – тяжелой бактериальной инфекции, переносимой клещами

В качестве вакцин против низкомолекулярных канцерогенов можно использовать белковые «аналоги», имитирующие их иммунные свойства

Первый русский академик М. В. Ломоносов инициировал и лично участвовал в снаряжении секретных экспедиций в поиске «возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию»

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

чл.-кор. 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

чл.-кор. 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)

чл.-кор. 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:  
630090, Новосибирск,  
ул. Золотодолинская, 11  
Тел.: +7 (383) 332-27-22, 330-21-77  
Факс: +7 (383) 330-26-67  
e-mail: zakaz@info-press.ru  
e-mail: editor@info-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 2 000 экз.

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

Дата выхода в свет 29.12.2011

Свободная цена

Перепечатка материалов только  
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2011

© «ИНФОЛИО», 2011

#### Над номером работали

Н. Астанина

Л. Беляева

С. Коротаев

к. б. н. Л. Овчинникова

Л. Панфилова

к. х. н. С. Прокопьев

М. Третьякова

А. Харкевич

#### Дорогие друзья!

*В истории человечества до сих пор немало «белых пятен», несмотря на огромное множество сохранившихся материальных и письменных артефактов. Что же тогда говорить о почти пяти миллиардной геологической истории нашей планеты, если даже возраст горных пород геология научилась определять только в прошлом веке? Тем не менее за последнее столетие эта наука достигла потрясающих успехов в познании внутреннего строения и механизмов эволюции нашей планеты.*

*В новом выпуске нашего журнала мы знакомим читателей с революционной сменой парадигм, произошедшей в науке о Земле во второй половине XX в. В первую очередь речь идет о создании теории тектоники литосферных плит, объяснившей причины «дрейфа континентов» – основного процесса эволюции материков и океана. Не меньшее значение имеет и теория мантийных «плюмов» – восходящих из глубин планеты струй горячей материи, положение которых на протяжении сотен миллионов лет остается неизменным. Прожигая насквозь движущиеся над ними литосферные плиты, плюмы оставляют на поверхности планеты характерный след в виде вулканических цепей, по которому возможна реконструкция горизонтальной «миграции» континентов.*

*Дальнейшее развитие геологии привело к объединению этих теорий в рамках новой геологической парадигмы – глубинной геодинамики, учитывающей взаимодействие всех внутренних оболочек Земли. В результате была разработана концепция единых континентальных циклов, в соответствии с которыми происходит периодическое образование и разрушение суперконтинентов. Ведущую роль в этом процессе играют суперплюмы – две крупные «горячие» глубинные области, обнаруженные благодаря успехам сейсмографии. Интересно, что их контуры практически совпадают с границами так называемых горячих полей мантии, которые были выделены российскими геологами еще тридцать лет назад на основе косвенных свидетельств.*

*Следующим шагом в понимании механизмов глубинной динамики стало создание термохимической модели глубинного плюма, позволившей качественно оценивать особенности проявления мантийного магматизма и выявить закономерности локализации различных изверженных пород, что может стать основой для прогнозирования и поиска крупных рудных месторождений.*



*В новом выпуске не обойдена вниманием и история Государства Российского. Ранее мы писали о находке в Томске полного списка Степенной книги царского родословия – первого обобщающего свода по истории Московского царства. В этом выпуске академик Н.Н. Покровский представляет более поздний труд историка, поэта и музыковеда архимандрита Тихона Макарьевского, в полном объеме опубликованный лишь в 2011 г. Это выдающееся сочинение, получившее название Латухинской Степенной книги, значительно расширило территориальные и хронологические границы русской истории. Главы, посвященные «темному периоду» царствования Ивана Грозного и последующим драматическим событиям Смутного времени, Н.М. Карамзин использовал при создании своего знаменитого многотомного исторического труда.*

*Цикл статей, посвященный 300-летию юбилею первого русского академика, завершает публикация о малоизвестной рукописи М.В. Ломоносова «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию». Ученый, страстно желавший, чтобы «сие открытие не досталось в чужие руки», лично участвовал даже в снаряжении секретных экспедиций для поиска северо-восточного прохода, которым, однако, воспрепятствовали технические трудности и тяжелая ледовая обстановка.*

*Кстати сказать, не все знают, что эта работа Ломоносова заканчивается фразой, часть которой уже более полувека служит неофициальным девизом Сибирского отделения Академии наук: «российское могуществово прирастать будет Сибирью и Северным океаном и достигнет до главных поселений европейских в Азии и в Америке».*

Академик Н.Л. Добрецов,  
главный редактор



**ЗАБРОШЕННУЮ ШАХТУ** в центре Якутска планируется переоборудовать в Федеральное **ХРАНИЛИЩЕ СЕМЯН** редких и исчезающих видов растений. **С. 6**

Благодаря математическому моделированию стало возможным подбирать **ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ** режим **ТЕРАПИИ** для **ОНКОБОЛЬНЫХ**. **С. 44**

## .01

### НОВОСТИ НАУКИ

- 6 **Б. М. Кершенгольц, П. А. Ремигайло, Е. С. Хлебный**  
Банк семян в вечной мерзлоте
- 10 **Г. В. Сакович**  
Алмазы, рожденные взрывом
- 14 **Е. В. Бреннер, А. М. Курильщикова, Н. В. Фоменко**  
Расшифрован геном боррелии – возбудителя болезни Лайма

## .02

### ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

- 18 **М. И. Кузьмин, В. В. Ярмолюк**  
Глубинная геодинамика, или Как работает мантия Земли
- 36 **Н. Л. Добрецов, А. С. Борисенко, А. Э. Изох**  
Термохимические глубинные мантийные плюмы – источник рудного богатства планеты

## .03

### ЧЕЛОВЕК

- 44 **А. В. Коптюг, Е. В. Мамонтов, Ю. Г. Суховей**  
На пути к персонализированной медицине. *Динамическая модель развития опухоли*
- 52 **А. Н. Глушков**  
Антитела против канцерогенов

## .04

### СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

- 58 **Н. Н. Покровский**  
Латухинская Степенная книга – история единого Государства Российского

## .05

### НАУКА – ТЕХНОЛОГИЯМ

- 76 **Н. В. Косова**  
Литий в лидерах. *Химические источники тока*
- 82 **Л. Г. Булушева, А. В. Окотруб, С. В. Ларионов**  
Нанотрубка, зажгись!

## .06

### ИСТОРИЯ НАУКИ

- 88 **Н. П. Копанева**  
Михаил Васильевич Ломоносов: «Северный океан есть пространное поле, где... усугубиться может российская слава»

## .07

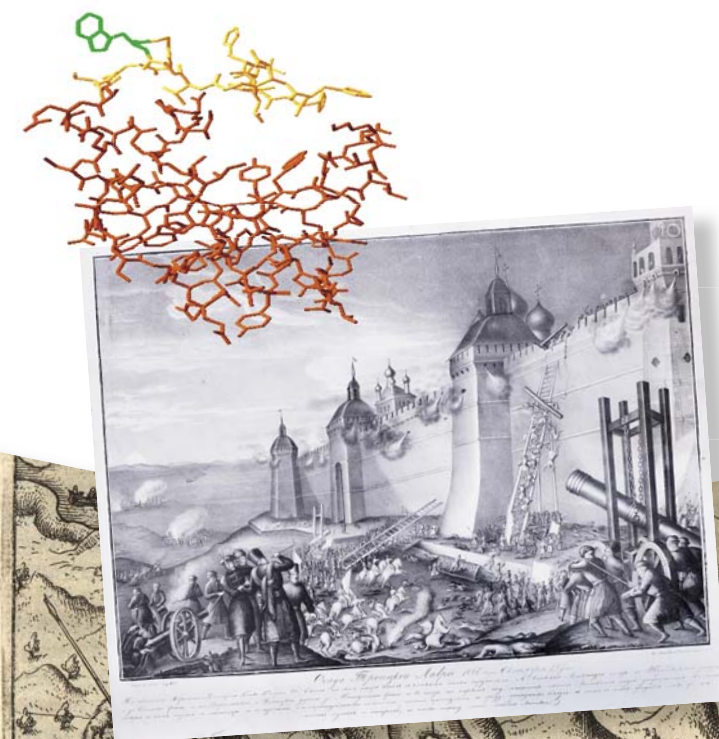
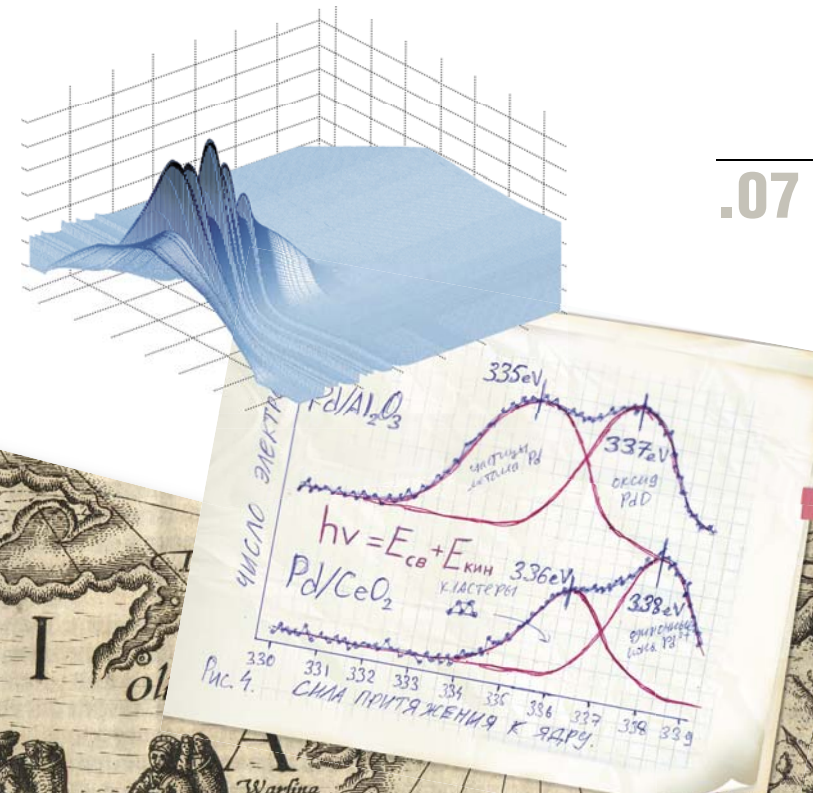
### ФАКУЛЬТЕТ

- 106 **Р. В. Гуляев**  
Социальная жизнь атомов и молекул

Самые **ЛЕГКИЕ И КОМПАКТНЫЕ** современные **АККУМУЛЯТОРЫ** «работают» на ионах лития **С. 76**

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ** частицы, «выращенные» на углеродных **НАНОТРУБКАХ**, помогут улучшить качество **ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ** **С. 82**

Рассказ о «жизни» **МОЛЕКУЛ** на поверхности **ТВЕРДОГО КАТАЛИЗАТОРА** **С. 106**



## Банк семян в вечной мерзлоте

Принято решение о создании в г. Якутске 1-й очереди Федерального криохранилища семян культурных, редких и исчезающих видов растений, которое будет располагаться в слое многолетнемерзлых пород. Основанием для этого стали результаты многолетнего эксперимента якутских ученых по хранению семян растений в подземной мерзлотной лаборатории, стартовавшего в 1977–1978 гг.

В наше время видовое и генетическое разнообразие растительного и животного мира планеты находится под угрозой: неожиданный и невосполнимый ущерб могут нанести последствия глобальных изменений климата, а также антропогенной деятельности, такие как техногенные катастрофы. По прогнозам специалистов, уже к середине XXI в. могут практически исчезнуть или подвергнуться серьезной генетической эрозии почти четверть видов высших растений, в том числе представляющие потенциальный экономический интерес.

Существует несколько способов по долговременному сохранению генетических растительных ресурсов. Наиболее удобная для хранения часть растений – семена, которые содержат уникальный набор генов. Поэтому в первую очередь речь идет о *семенных банках*, где образцы хранятся в течение десятилетий – этот метод имеет значительные преимущества перед другими из-за своей простоты и низкой трудоемкости. Создание такого «генетического запаса», особенно в отношении генов, значимых для селекции, – наиболее рациональный путь сохранения биоразнообразия в практических целях.

Подобные меры по сохранению семян редких и хозяйственно важных видов культурной и дикой флоры сегодня применяются во многих странах мира – общее число семенных банков приближается к полутора тысячам. В подобных хранилищах хранятся сотни тысяч образцов семян. Так, семенные банки Франции насчитывают около 500 тыс. образцов, Китая – более 800 тыс., Индии – более 600 тыс., США – около 1 млн, Брази-

**Ключевые слова:** банк семян, криохранилище, биоразнообразие.

**Key words:** seedbank, cryopreservation, biodiversity

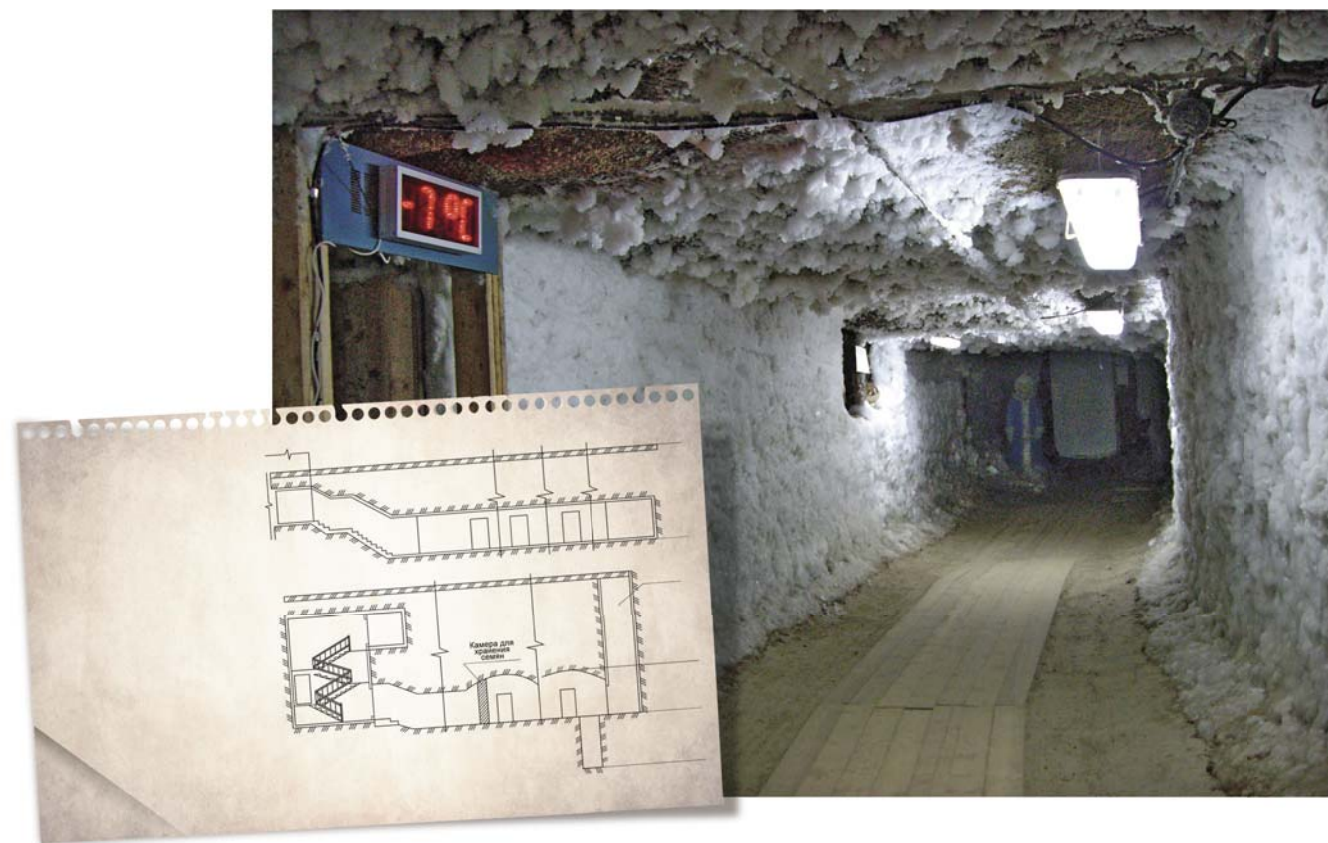
лии – более 300 тыс. В России основным хранителем коллекции семян является санкт-петербургский Всероссийский институт растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР), причем за последние 35 лет число образцов в его коллекциях сократилось почти вдвое и сейчас составляет 270 тыс.

Международный совет по генетическим ресурсам растений разработал общие стандарты хранения семенного материала, которых должны придерживаться все страны мира. Согласно этим положениям, семенной банк состоит из *базовой* и *рабочей* (действующей) коллекций, причем образцы из последней регулярно тестируются. Коллекции должны храниться в условиях, гарантирующих, что жизнеспособность (всхожесть) семян составит не менее 65 % в течение 10–20 лет хранения. Для этого перед закладкой в хранилище их высушивают до 3–7%-ной влажности и хранят при отрицательных температурах в герметичной упаковке.

Предпочтительные условия хранения для базовой коллекции – минус 180 °С и относительная влажность 5 %, однако комбинация температуры и влажности может варьировать, в том числе в зависимости от вида растения. Интересен тот факт, что зависимость между температурой и максимально возможной продолжительностью хранения семян нелинейна, поэтому экономическая выгода от снижения температуры (по крайней мере в диапазоне температур до –200 °С) уменьшается со снижением температуры хранения.

Хранение семян при низких температурах и низкой влажности позволяет сохранять жизнеспособность семян в течение десятков и даже сотен лет. Всхожесть семян проверяется через определенные промежутки времени (обычно каждые 5 лет) из образцов рабочей коллекции. При снижении всхожести получают новый образец, выращивая растения из сохранившихся семян, однако подобная регенерация коллекции – процесс длительный и дорогостоящий.

Современные хранилища генетических ресурсов растений, призванные обеспечить оптимальные условия для долговременного сохранения жизнеспособности семян являются, по сути, большими холодильными установками. Их содержание весьма затратно из-за больших расходов на электроэнергию, обслуживание



холодильных установок и регулярные пересевы семян. Например, стоимость хранения около 1 млн образцов в хранилищах Национальной системы генетических ресурсов США (15 тыс. образцов – в жидком азоте, остальные – при –18 °С) составляет ежегодно около 100 млн долл. К тому же из-за относительно низкой сейсмостойкости этого комплекса имеется реальная угроза полной или частичной потери коллекции при воздействии экстремальных внешних факторов. Вот недавний печальный пример такого рода: из-за перебоев в электроснабжении, вызванных катастрофическим цунами, обрушившимся на побережье Японии весной 2011 г., там погибла почти половина коллекции банка семян.

Эта штольня ведет в подземное криохранилище – мерзлотную лабораторию Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН (Якутск), где в течение более 30 лет на глубине 12 м хранятся семена растений. Совместно с Институтом горного дела Севера им. Н. В. Черского были разработаны эффективные технологии управления температурно-влажностным режимом в камерах подземного хранилища большого объема практически только за счет рационального использования естественного холода. Поэтому такой способ длительного хранения семян отличается высокой экономичностью и независимостью от внешних источников энергии. Фото А. Шеина

К счастью, существует альтернатива – криохранилища, расположенные в толще многолетнемерзлых грунтов со стабильными температурами не выше  $-4^{\circ}\text{C}$ , которые обладают большой температурной инерционностью. Использование естественного холода для создания необходимых отрицательных температур совместно с системой оптимизации температурно-влажностных и газовых условий может обеспечить сверхдлительное (десяtkи и сотни лет) хранение семян без промежуточных пересевов. Таким способом можно в сотни раз снизить себестоимость хранения, а относительная автономия хранилища и независимость от перебоев в энергоснабжении позволят сохранить генофонд в условиях глобальных изменений климата, природных и техногенных катастроф.

Такие криохранилища оптимально размещать на севере зоны распространения сплошной и устойчивой мерзлоты. Этим требованиям отвечает, например, Северная и большая часть Центральной Якутии, где глубина вечномерзлых пород может достигать 1,5 км. Неудивительно, что предложение о создании в этом регионе криохранилища семян было выдвинуто еще в начале 1970-х гг. В.Н. Дохунаевым, сотрудником Якутского института биологии СО АН СССР (ныне – Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН).

В результате в 1977–1978 гг. в подземной лаборатории Института мерзлотоведения СО АН СССР (ныне – Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН), расположенной на глубине 12 м в толще многолетнемерзлых пород, стартовал совместный эксперимент якутских ученых по длительному хранению более 10 тыс. образцов семян бобовых культур из коллекции ВИРа. Позднее туда же было помещено около 1 тыс. сортообразцов семян сельскохозяйственных культур, интродуцированных в Якутии, а также редких и исчезающих видов местных дикоросов. Других precedентов такого длительного криохранения только за счет естественного холода в мире нет (Соломонов и др., 1984; Мокроносков и др., 1994).

Промежуточные результаты эксперимента показали, что после 33-летнего хранения семена бобовых и злаковых культур сохраняют высокую всхожесть (на уровне 90–100 %) и хорошие морфологические характеристики, а уровень хромосомных нарушений не превышает 1–2 %. Исследования показали, что во время хранения в семенах значительно падают скорости синтеза белков и интенсивность клеточного деления на фоне возросшей активности антиоксидантной защитной системы и системы репарации (восстановления) ДНК. Это свидетельствует о физиологичности процессов, протекающих в семенах растений в условиях естественного холода при температурах около  $-6,0^{\circ}\text{C}$  (более того, при  $-18^{\circ}\text{C}$  уровень хромосомных нару-

шений увеличивается в 3–4 раза). Особенно хорошие показатели продемонстрировали семена, которые хранились в герметичной таре, заполненной углекислым газом, аргоном или азотом.

Если сравнить результаты эксперимента с показателями сохранности семян аналогичных сортообразцов из коллекции ВИРа, то оказывается, что хранение семян в стандартных условиях (рефрижераторных камерах) в течение 11–13 лет привело к снижению всхожести до 50–80 % при уровне хромосомных нарушений 6–28 %. При хранении же в течение 28–30 лет все семена стали нежизнеспособными.

В 2011 г. за счет средств бюджета Республики Саха (Якутия) была начата реконструкция заброшенной шахты № 2, расположенной на территории Института мерзлотоведения. В подземной выработке такого типа за счет рационального использования естественного холода может быть реализована эффективная технология управления температурно-влажностным режимом, что позволит поддерживать температуру в оптимальном диапазоне при соблюдении микробиологической чистоты. Эту подземную выработку в дальнейшем можно легко расширить.

Здесь будет размещена 1-я очередь Федерального криохранилища семян культурных, редких и исчезающих видов растений объемом более 100 тыс. сортообразцов, а в дальнейшем семенную коллекцию планируется увеличить в 6–7 раз. Предполагается, что площадь будущего криохранилища составит 1900 м<sup>2</sup>. Сроки реализации проекта – 2013–2015 гг., ориентировочная стоимость – 180 млн руб.

В последние годы к идее создания международного криобанка семян в толще многолетней мерзлоты проявляют немалый интерес такие высокоразвитые страны, как Норвегия, Швеция, Япония и др. Так, в феврале 2008 г. в норвежском г. Свальбард на о. Шпицберген было запущено Всемирное хранилище семян с максимальной вместительностью 4,5 млн образцов. Это криохранилище в толще горы, которое еще называют Хранилищем Судного дня, расположено в сейсмически безопасной зоне на высоте 120 м над уровнем моря, что обеспечивает его безопасность даже в случае таяния полярных льдов. Здесь предполагается размещать резервные дубликаты коллекций других семенных банков: в марте 2010 г. здесь уже хранилось около полумиллиона образцов, и число их постоянно растет.

Вместе с тем следует отметить, что температуры многолетнемерзлых пород на Шпицбергене не опускаются ниже  $-3^{\circ}\text{C}$ , поэтому для достижения рекомендуемых международными экспертами отрицательных температур ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) используется энергоемкая рефрижераторная техника. Кроме того, судя по вышеприведенным



результатам, для сохранения жизнеспособности и генетической целостности семян оптимальными являются температуры от  $-6$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ .

В заключение следует отметить, что наши знания о хранении семян достаточно ограничены, так как большинство исследований проведено на сельскохозяйственных растениях. Необходимо более тщательно изучить и вопросы оптимизации подготовки семян к длительному хранению в природных криогенных условиях, влияние газовой среды, а также решить задачи масштабирования технологии хранения семян в толще многолетнемерзлых пород, отработанные в лабораторных условиях.

Д. б. н. Б. М. Кершенгольц, к. б. н. П. А. Ремигайло,  
к. б. н. Е. С. Хлебный (Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск)

В подземном криохранилище в Якутии хранятся 11 тыс. образцов семян культурных и диких растений. Сотрудники лаборатории микробиологии Института химической и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) отметили высокую микробиологическую чистоту как самого хранилища, так и сохраняемых там семян. Фото А. Шеина

#### Литература

- Мокроносков А. Т., Кушцова Е. С., Попов А. С., Кузнецов В. В. Генетическая коллекция как способ сохранения биоресурсов планеты // Вестник РАН. 1994. Т. 64, № 11. С. 991–1001.
- Кершенгольц Б. М., Иванов Б. И., Десяткин Р. В. и др. Использование естественного холода многолетнемерзлых пород для длительного хранения генетических ресурсов // Вестник ВОГиС. 2008. Т. 12, № 4. С. 524–533.
- Соломонов Н. Г., Алексеев В. Г., Дохунаев В. Н. О путях использования вечной мерзлоты в решении народно-хозяйственных задач // Механизмы криоповреждений и криозащиты биологических объектов: Тез. докл. II Всесоюз. конф. Харьков, 1984. Т. 2. С. 83.

## Алмазы, рожденные взрывом

Лауреатом Международной премии в области нанотехнологий «Rusnanoprize» в 2011 г. стал академик Г. В. Сакович, научный руководитель Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН (Бийск). Премия присуждена за разработку технологии производства наноразмерных алмазов из взрывчатых веществ при их детонации. Разработанная почти 30 лет назад, эта технология до сих пор не имеет аналога в мировой практике. За ее внедрение в массовое производство памятный диплом премии «Rusnanoprize» получил также Федеральный научно-производственный центр «Алтай» (Бийск) (Генеральный директор, член-корреспондент А. С. Жарков)

Алмаз является метастабильной при обычных условиях формой углерода. Она образуется только при очень высоких давлениях. Достичь необходимых уровней давления можно, например, в ударной волне, возникающей при детонации взрывчатых веществ, что подтвердили эксперименты, выполненные в ведущих лабораториях мира.

На основе этого способа американская компания «Дюпон» реализовала промышленное производство алмазов в начале 1980-х гг. По разработанной ей технологии ампула с углеродным материалом (обычно графитом) при подрыве заряда взрывчатого вещества подвергалась ударному обжатию до давлений более 100 тыс. атм, что сопровождалось разогревом до нескольких тысяч градусов. В таких условиях углерод рекристаллизовался в алмаз, т.е. суть метода заключалась в использовании энергии взрыва для создания условий, при которых происходил фазовый переход графита в алмаз. Чтобы алмаз при спаде давления не успевал превращаться обратно в графит, в ампулу добавляли 20-кратный избыток порошка меди или никеля для быстрого отвода тепла. Получающийся продукт содержал частицы алмаза микронного размера и использовался в технических целях, например в качестве эффективного абразива для грубой шлифовки деталей.

Синтетическими алмазами заинтересовались и в НПО «Алтай» (Бийск). Идейными вдохновителями отечественного производства алмазов были заместитель генерального директора этого оборонного предприятия Г. В. Сакович и руководитель отдела Института гидродинамики СО АН СССР (Новосибирск) А. М. Ставер, разработавшие программу исследований в этой области.

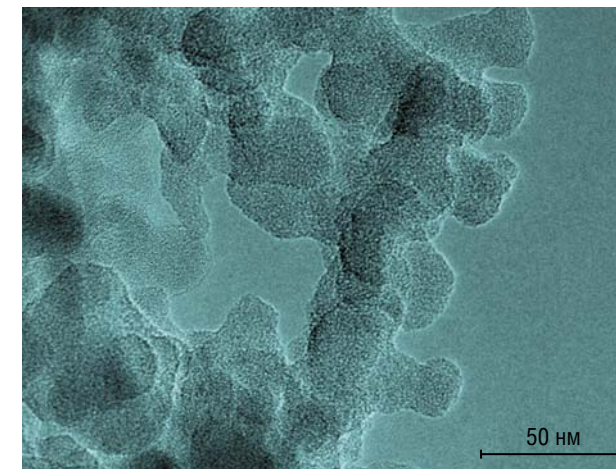
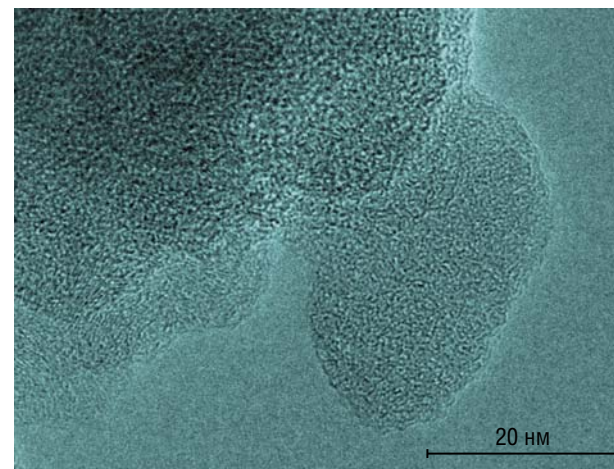


Было известно, что в процессе ударного синтеза алмазов очень важным фактором являлась скорость детонации. Если она была слишком большой, то ампула разрушалась, а если слишком маленькой, то энергии для образования алмазов не хватало. Но химический состав разработанной «Дюпоном» взрывчатки представлял собой «военную тайну», поэтому исследования пришлось начать «с нуля».

Первая попытка специалистов НПО «Алтай» воспроизвести американскую технологию оказалась неудачной – при взрыве ампула рассыпалась буквально «в пыль». Взрывчатка другого состава также разрушила ампулу, но уже на достаточно крупные куски. В содержимом ампулы рентгеновский анализ выявил кристаллическую структуру алмаза.

Поставленная цель была достигнута, и перед исследователями встала очередная задача: как можно упростить технологический процесс. Для этого был рассмотрен способ детонационного синтеза алмазов, описанный профессором А. Н. Дреминым из Института проблем химической физики РАН (Черноголовка). Там смешивали графитовый порошок непосредственно со взрывчатым веществом (гексогеном). Разбавление металлом

**Ключевые слова:** детонационный синтез, взрывчатые вещества, гексоген, ультрадисперсные алмазы, нанотехнология.  
**Key words:** detonation synthesis, explosive, hexogene, detonation nanodiamond, nanotechnology



в этом случае не требовалось, потому что охлаждение образующейся алмазной фазы происходило за счет расширения продуктов взрыва в замкнутом объеме взрывной камеры.

Однако из-за большой скорости детонации (выше 6 км/с) действие ударной волны длилось считанные микросекунды, поэтому алмазы получались очень мелкие, размером, соизмеримым с размерами частиц исходного углерода. Особую сложность представляло отделение алмаза от графита, поскольку оба вещества являются термостойкими и химически инертными материалами. В результате исследований были найдены условия химической обработки, при которых графит переходит в растворимую окисленную форму, а очищенный алмаз – в осадок.

После первых же экспериментов, выполненных в Новосибирске, была обнаружена закономерность: масса алмазов, выделенных из продуктов взрыва, оказывалась больше, чем вес закладываемого графита. В ходе проверки было выяснено, что нарушений закона сохранения массы нет – просто в процессе превращения участвует не только углерод графита, но и атомы углерода взрывчатого вещества (в молекуле гексогена более 15 % массы приходится на углерод). В результате на созданной в Бийске опытной установке осуществилось первое в мире производство алмазов непосредственно из взрывчатых веществ.

Перспективу применения «алмазной нанопудры» многие воспринимали скептически, но поскольку план исследований был уже утвержден Министерством,

Частицы детонационного углерода имеют размер в несколько нанометров и составлены фазами алмаза, графита и сажи. *Электронная микроскопия*

на предприятии стали исследовать свойства этих искусственных наноалмазов (в то время их называли ультрадисперсными алмазами) в надежде найти перспективные области их применения. И вопреки прогнозам пессимистов, эти области оказались невероятно разнообразными.

Во-первых, поскольку алмаз – самое твердое вещество, то наиболее естественным является его использование для создания абразивных материалов. И на основе «алмазной пыли» были сделаны полировочные пасты. Известно, что чем более тонкодисперсной является паста, тем чище становится полируемая ей поверхность. Для обычного (светового) микроскопа подходят линзы и зеркала с шероховатостью 3–4 мкм, но для оптики рентгеновского микроскопа, в котором длина волны излучения намного меньше, нужна особо гладкая поверхность. Получить ее можно только с помощью алмазных паст. Недаром потребителями продукции бийских «алмазников» стали японские фирмы – производители микроэлектроники, в которой используется оптика из сапфировых материалов, требующая высочайшей степени чистоты.

Еще одна область применения ультрадисперсных алмазов – гальванические покрытия. Так, алмазная добавка к никелевому покрытию делает его таким же





прочным, как и хромовое, что позволяет повсеместно отказаться от экологически вредного гальванического производства на основе хрома. При золочении, широко применяемом в ювелирном деле, толщина золотого слоя составляет всего 5–8 мкм, но если площадь изделий исчисляется тысячами квадратных метров, расход металла становится весьма значительным. Добавление алмазного порошка позволяет уменьшить слой золочения вдвое, одновременно повышая его износостойкость в 2–4 раза, что приводит к прямой экономии золота за счет замены дорогого материала на более дешевый.

Одним из полезных свойств алмазной пудры является то, что, будучи добавленной в моторные масла, она значительно снижает коэффициент трения между трущимися поверхностями. Этот неожиданный эффект обусловлен тем, что на поверхности алмазных наночастиц адсорбируются молекулы масла, и образующиеся нанометровые глобулы своеобразного композита заполняют микрометровые впадины шершавой поверхности, формируя на ней гладкий и скользкий слой. Этот слой оказывается очень прочным: под нагрузкой масло не отжимается, так как хорошо удерживается на алмазах. Живой интерес к этому эффекту проявили в Японии, где развернута целая «антифрикционная программа», называемая не иначе как экономической революцией в машиностроении, или созданием «четвертого поколения» механизмов. Действительно, когда все трущиеся поверхности уведутся на субмикронный уровень шероховатости, механизм работает бесшумно, а значит, почти без потери энергии.

В лабораторной установке ИПХЭТ СО РАН изучают процесс детонационного синтеза наноматериалов. Внешняя крышка камеры выдерживает давление в десятки атмосфер. Справа – полученная этим методом наноалмазная пудра марки УДА-П

К примерам полезного применения наноалмазов относится также увеличение срока службы режущего и штамповочного инструмента, автомобильных шин и других резинотехнических изделий. Но с помощью разработанной в Бийске взрывной технологии можно получать не только алмазную, но и другую продукцию. Это большой класс материалов с метастабильной кристаллической структурой, которая возникает в экстремальных условиях – при сверхвысоких давлениях. Никаким другим способом такие уникальные вещества получить нельзя. Среди них большая гамма наноматериалов из металлов, окислов, нитридов, карбидов.

Премьер-министр В. А. Рыжков, посетивший в 1989 г. Бийск и увидевший достижения НПО «Алтай», уже



через три месяца выпустил распоряжение, предусматривающее создание к 1995 г. целой отрасли промышленности наноалмазов объемом 50 т в год (это почти 250 млн карат – больше, чем добывали в те годы в Якутии). И хотя в трудные постперестроечные годы государственная финансовая поддержка ослабла, работы в этом направлении не прерывались. В последние годы, в связи с тем, что нанотехнологии признаны приоритетным направлением развития цивилизации, разработки бийских оборонщиков вызвали вторичную волну внимания – в РоснаноТех.

На протяжении тридцати лет исследований материалов, получаемых методом детонационного синтеза, сотрудникам «Алтая» было выдано более 50 авторских свидетельств СССР, патентов России, Беларуси, Канады, США, Японии, стран Евросоюза. Содружество двух структур – Академии наук в лице ИПХЭТ СО РАН и производства в лице ФНПЦ «Алтай» – продолжается и поныне. Сейчас на предприятии не только занимаются совершенствованием технологий в уже известных областях применения нанопорошков, но и активно исследуют принципиально новые приложения: полимерные и биофармацевтические материалы, технологии очистки и др.

Несмотря на свой «юный возраст» – премия «Rusnanoprize» присуждается всего в третий раз, – она уже получила широкое признание в международном сообществе. И тот факт, что лауреатом этой престижной премии стал бийский ученый, является не только подтверждением статуса Бийска как наукограда, но и доказательством несомненного успеха всей сибирской науки.

Академик Г. В. Сакович, научный руководитель Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН (Бийск)

В публикации использованы фото Е. С. Ахмадеевой

Нанесение наноалмазного покрытия, разработанного в НПЦ «Алтай», на режущие кромки механических инструментов значительно увеличивает срок их службы

*Литература*  
Козырев Н. В., Сысолятин С. В., Сакович Г. В. Синтез ультрадисперсных алмазов из сплава тротила с полициклическими нитраминами // Физика горения и взрыва. 2006. Т. 42, № 4. С. 131–134.

Козырев Н. В., Ларионов Б. В., Сакович Г. В. Влияние дисперсности октогена на синтез наноалмазов в детонационных волнах // Физика горения и взрыва. 2008. Т. 44, № 2. С. 79–83.

## Расшифрован геном боррелии – возбудителя болезни Лайма

В 2011 г. в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) был полностью расшифрован геном типичного для России патогенного вида боррелии, выделенной из иксодового клеща сотрудниками томского предприятия НПО «Вирион»

Исследования заболеваний, переносимых клещами, с каждым годом становятся все более актуальными: только в 2011 г. в России было зарегистрировано около полумиллиона случаев укуса клеща. При этом человек может заразиться не только широко известным вирусным клещевым энцефалитом, но и другой, не менее опасной, бактериальной инфекцией – клещевым боррелиозом, или болезнью Лайма.

Боррелиоз – полисистемное заболевание, при котором может поражаться кожа, опорно-двигательный аппарат, нервная и сердечно-сосудистая система. Если сразу не начать лечение, болезнь переходит в хроническую форму, которая лечится значительно дольше, сложнее и не всегда эффективно – заболевшему часто грозит инвалидность из-за тяжелого повреждения тканей и органов. Вакцин же, предохраняющих от этого заболевания, в настоящее время не существует.

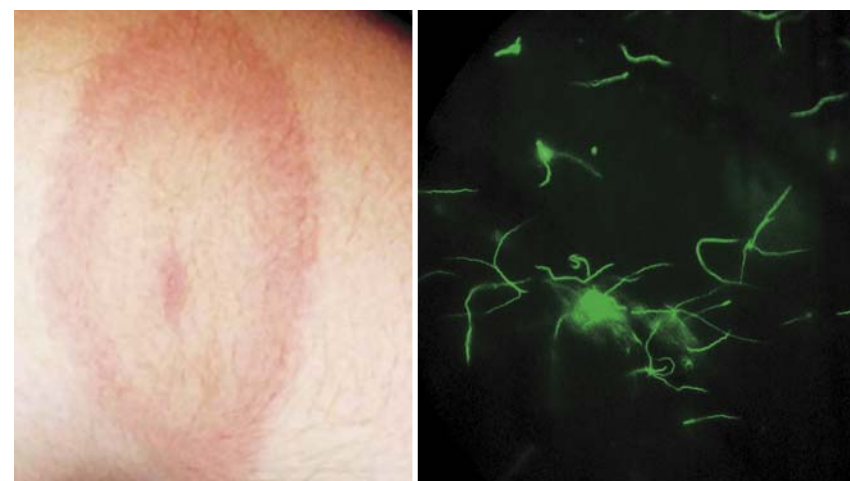
Чтобы своевременно оказать необходимую медицинскую помощь при боррелиозе, требуется быстрая и точная молекулярно-генетическая диагностика заболевания. Однако сделать это не так просто, так как в разных регионах для человека патогенны различные виды боррелий, которые к тому же могут отличаться большим внутривидовым генетическим разнообразием. Это затрудняет, к примеру, использование в Сибири диагностических систем, разработанных в США или Европе.

Ключевой точкой при разработке современных средств диагностики, профилактики и терапии заболевания болезни является исследование генома (полной совокупности наследственного материала) возбудителя. В идеале следует осуществлять секвенирование – определение последовательности нуклеотидов в ДНК – всего генома инфекционного агента. Соответственно, для разработки диагностических систем, вакцин и методов лечения, специфичных и эффективных в первую очередь в отношении боррелий, типичных для России, требуется секвенировать геномы местных генетических вариантов бактерий. Но еще до недавнего времени подобные работы были бы чрезвычайно дорогими и трудоемкими.

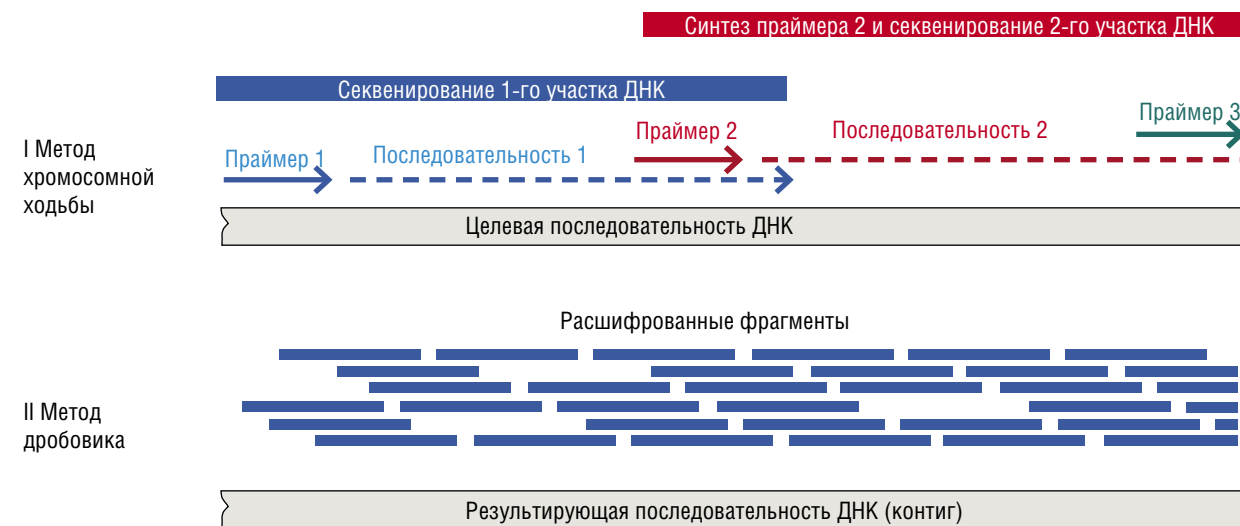
Первый внешний симптом боррелиоза – красное кольцо, появляющееся на месте укуса клеща, результат воспалительной реакции на попавшие в организм бактерии. Сама боррелия, как и ее ближняя родственница трепонема – возбудитель сифилиса, по внешнему виду напоминает извитую спираль. Фото Н. Фоменко (ИХБФМ СО РАН, Новосибирск)

**Ключевые слова:** секвенирование следующего поколения, геномика, переносимые клещами заболевания, боррелиоз.

**Key words:** next-generation de novo sequencing, genomics, tick-transmitted diseases, borreliosis



Заболееваемость клещевым боррелиозом отмечена в 49 субъектах РФ, при этом ее уровень наиболее высок в Уральском, Западно-Сибирском и Дальневосточном округах. На территории Новосибирской области зараженность иксодовых клещей боррелиями может достигать 25%



В XX в. были разработаны две стратегии расшифровки геномов организмов: метод хромосомной ходьбы и метод дробовика, в основе которых лежит метод ферментативного секвенирования Сэнгера, названный в честь его изобретателя, нобелевского лауреата Ф. Сэнгера

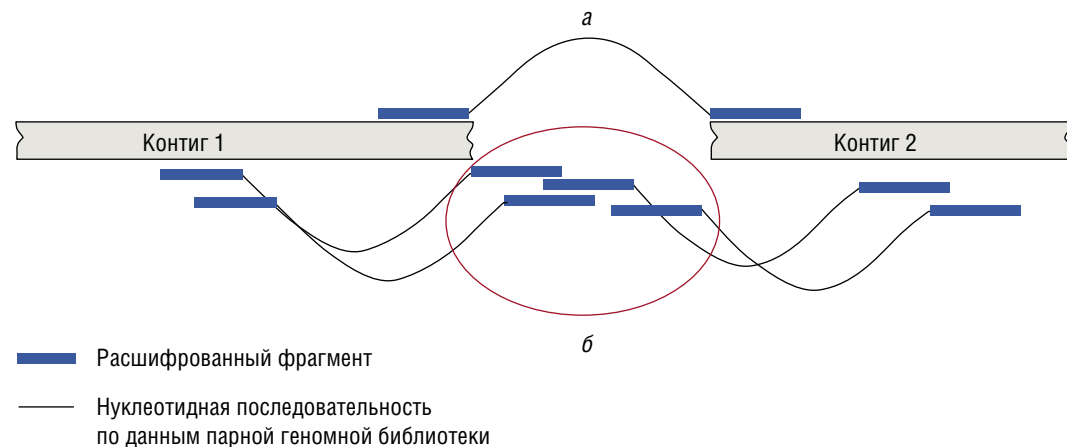
Разработка методов секвенирования, начавшаяся еще в 1960–1970-х годах, имела конечной целью рутинную расшифровку целых геномов в разумные сроки и за разумную стоимость. Первым крупным успехом в этой области стал метод ферментативного секвенирования Сэнгера, позволяющий за один эксперимент достоверно определять последовательности длиной до тысячи нуклеотидов. Этот метод, претерпев множество модификаций, и сейчас остается «рабочей лошадкой» секвенирования.

Чтобы упростить и ускорить процесс секвенирования протяженных участков ДНК, была предложена стратегия, получившая название «метод дробовика». Суть ее в том, что последовательность исходной ДНК (контиг) определяется на основе множества расшифрованных перекрывающихся коротких фрагментов. В рамках этой стратегии, однако, требуется получить суммарное количество данных, в разы превышающих данные относительно самой исходной последовательности! За кажущейся простотой и изящностью этого подхода скрывалась немалая решимость исследователей, ведь он был предложен и опробован в то время, когда стоимость определения одного нуклеотида составляла несколько долларов. К тому же не существовало ни эффективных алгоритмов сборки целевой ДНК из коротких последо-

### ИЗ ДРОБОВИКА – ПО ГЕНОМАМ

Первая стратегия секвенирования протяженных последовательностей – «хромосомная ходьба» – базируется на использовании метода ферментативного секвенирования Сэнгера. При таком секвенировании изначально требуется иметь праймер – 15–20 известных «букв» (нуклеотидов) определяемой последовательности. Поэтому процесс расшифровки протяженной последовательности состоит из чередования стадий секвенирования методом Сэнгера коротких перекрывающихся участков ДНК, причем в качестве очередного праймера каждый раз используется часть уже расшифрованной последовательности.

Суть второй стратегии секвенирования, названной «метод дробовика», заключается в том, что целевая ДНК первоначально фрагментируется случайным образом. Фрагменты клонируются в векторные молекулы ДНК, размножаются в бактериальном штамме и секвенируются по методу Сэнгера с использованием универсального праймера. Целевая последовательность затем восстанавливается на основе перекрывающихся последовательностей коротких фрагментов. При этом суммарная длина секвенируемых последовательностей обычно в разы превышает длину целевой ДНК



вательностей, ни достаточно мощных вычислительных машин, способных эту сборку выполнять. Неудивительно, что секвенирование генома человека, начатое в 1990-х годах, потребовало 13 лет скоординированных усилий сотен людей из десятков научных организаций нескольких стран.

Однако ситуация радикально изменилась в XXI в., когда на основе накопленного опыта были разработаны принципиально новые *технологии массового параллельного секвенирования*. В основе существующих сегодня подобных технологий лежат разные процессы, но все их объединяет одно: секвенирование производится одновременно в миллионах микроскопических реакционных областях. Таким образом, в ходе единственного эксперимента прочитываются миллионы индивидуальных коротких последовательностей, которые затем можно использовать для сборки протяженных последовательностей методом дробовика. При этом расход времени, реактивов и, в конечном счете, денег в пересчете на один нуклеотид на порядки меньше, чем при традиционном секвенировании по Сэнгеру. Так появилась реальная возможность быстро и недорого секвенировать целые геномы.

Специалисты новосибирского Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН имеют немалый опыт в этой области: здесь еще в 1989 г. был секвенирован геном вируса клещевого энцефалита. Однако геном боррелии более чем в 100 раз больше и намного сложнее организован.

Геномы даже таких простейших организмов, как боррелии, как правило, обычно содержат несколько *репликонов* (наследственных единиц, автономно копирующихся при клеточном делении) – хромосом или плазмид. При этом в таком геноме, как правило, имеются области, дублированные несколько раз (сателлитная ДНК, гены рибосом и т. д.). Это приводит к тому, что целевые нуклеотидные последовательности,

В XXI в. для расширки геномов стали использоваться недорогие и быстрые технологии массового параллельного секвенирования. С помощью данных парной геномной библиотеки появилась возможность виртуально «сшивать» отдельные расшифрованные нуклеотидные последовательности. Благодаря этому можно правильно расположить уже расшифрованные участки целевой ДНК (контиги) (а) и заполнить промежутки между ними (б)

полученные методом дробовика, оказываются короче, чем должна быть полная последовательность.

«Разрыв» последовательностей происходит как раз в местах, содержащих дубли. В ряде случаев завершение полной расшифровки таких геномов оказывается теоретически возможным, но требует привлечения традиционной техники секвенирования по Сэнгеру для миллионов последовательностей, т.е. огромных дополнительных ресурсов. По этой причине очень часто секвенирование генома объявляется завершенным еще до того, как будут получены неразрывные достоверные последовательности всех его репликонов. Например, геном человека до сих пор представлен сотнями нуклеотидных последовательностей, которые покрывают около 95 % его реальной протяженности.

Однако иногда подобную ситуацию можно разрешить проще, используя так называемые «парные геномные библиотеки». На концах каждой молекулы такой библиотеки находятся разные фрагменты целевого генома. Расстояние между этими фрагментами известно и задается исследователем. Секвенирование таких библиотек позволяет расположить расшифрованные



Все существующие технологии массового параллельного секвенирования ДНК основаны на одновременной расшифровке коротких нуклеотидных последовательностей в миллионах микроскопических реакционных областях. На фото – проточная ячейка геномного секвенатора SOLiD. В каждом из четырех коричневых пятен – по 90 млн индивидуальных реакционных областей. Фото Е. Бреннера

последовательности в правильном порядке и ориентации, а в ряде случаев – еще и заполнить промежутки между ними.

Для повышения качества результатов секвенирования оптимально использовать комбинацию различных методов, каждый из которых обладает уникальными преимуществами. Секвенирование генома сибирского вида боррелии (*B. garinii* BgVir), выделенного в НПО «Вирион», в ИХБФМ производили методом массового параллельного секвенирования на платформах Roche (фрагментная геномная библиотека) и SOLiD (парная геномная библиотека).

С помощью пиросеквенатора Roche можно секвенировать длинные (около 400 п. н.) нуклеотидные последовательности и определять структуру тех районов генома, которых нет в уже расшифрованных геномах даже наиболее близких видов. Использование же платформы SOLiD дает возможность при минимальных затратах получать сколь угодно большое покрытие геномов любого размера и, при использовании парных библиотек, закрывать районы, не покрытые данными других платформ.

Такой подход позволил новосибирским исследователям использовать преимущества и нивелировать недостатки каждой из платформ. Окончательная сборка последовательностей, поиск в них генов и анализ отличий секвенированного генома от ранее известных проводился с использованием разработанных в институте программных алгоритмов на приборной базе ЦКП «Биоинформатика». При сравнительном анализе с другими видами боррелий удалось выявить ряд структурных различий, затрагивающих в том числе гены поверхностных белков и некоторых ферментов, и определить набор генов, уникальных для генома *B. garinii* BgVir.

Опыт, накопленный сибирскими исследователями в области секвенирования относительно более простых вирусных и бактериальных геномов, дает им возможность в дальнейшем не только с успехом заниматься расшифровкой вирусных и бактериальных геномов, но и начать работу с более сложно организованными геномами высших организмов.

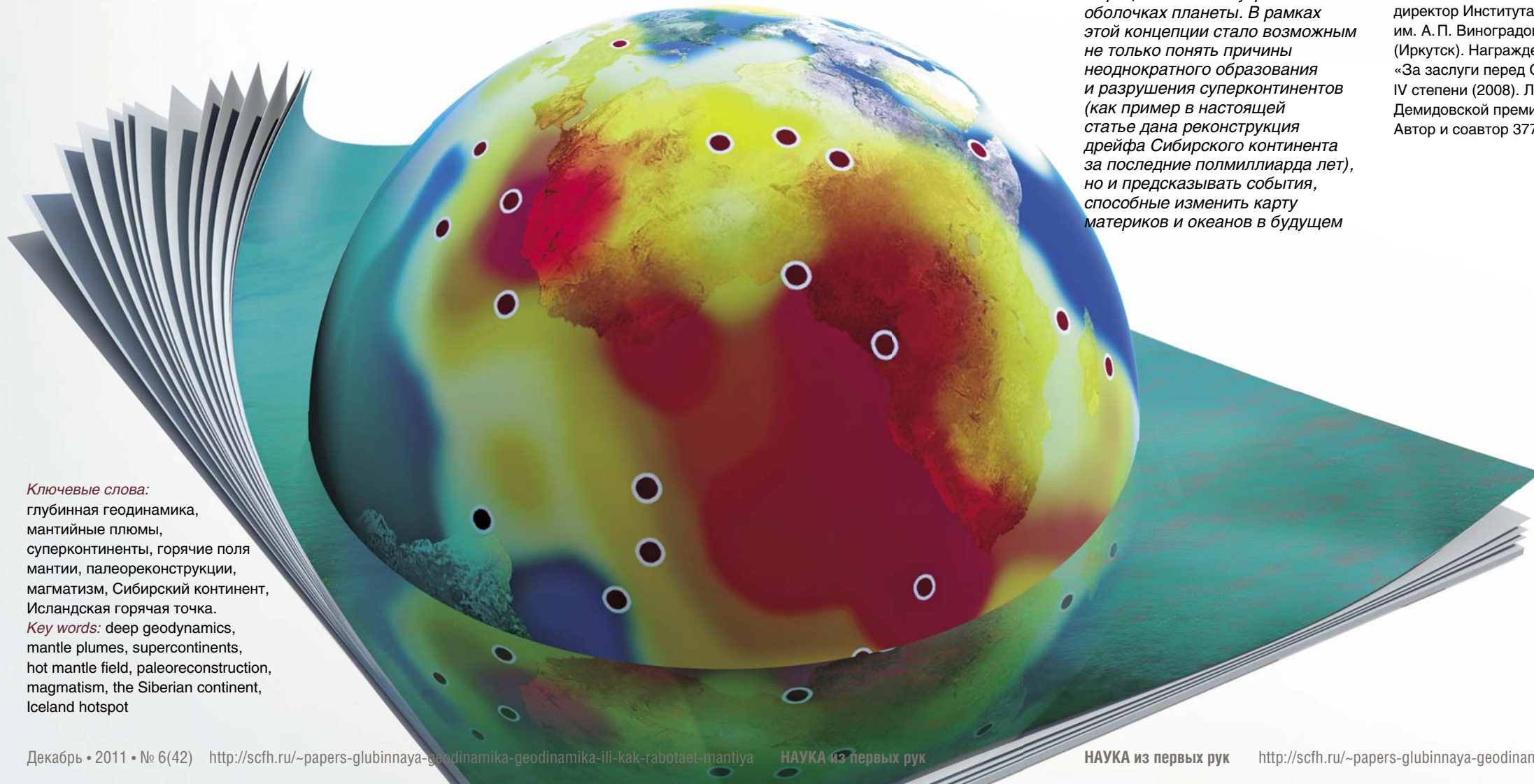
К. б. н. Е. В. Бреннер, А. М. Курильщикова, к. б. н. Н. В. Фоменко (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск)

Литература  
Фоменко Н. А. Клещевой боррелиоз: болезнь на всю жизнь? // Наука из первых рук. 2007. № 3(15). С. 44–51.

М. И. КУЗЬМИН, В. В. ЯРМОЛЮК

# ГЛУБИННАЯ ГЕОДИНАМИКА, или Как работает мантия Земли

Посвящается  
Льву Павловичу Зоненшайну



**Ключевые слова:**  
глубинная геодинамика,  
мантийные плюмы,  
суперконтиненты, горячие поля  
мантии, палеорекострукции,  
магматизм, Сибирский континент,  
Исландская горячая точка.  
**Key words:** deep geodynamics,  
mantle plumes, supercontinents,  
hot mantle field, paleoreconstruction,  
magmatism, the Siberian continent,  
Iceland hotspot

В геологии за последние полвека произошли кардинальные изменения во взглядах на внутреннее строение и механизмы геологической эволюции нашей планеты. Благодаря успехам сейсмической томографии в глубинах Земли обнаружены две огромные области более горячей материи, простирающиеся до самого ядра планеты. Интересно, что их проекции на поверхность практически совпали с так называемыми горячими полями мантии, которые были выделены советскими геологами еще тридцать лет назад по косвенным данным. Сделанные открытия легли в основу концепции глубинной геодинамики, которая связала явления, происходившие на поверхности Земли, с процессами во внутренних оболочках планеты. В рамках этой концепции стало возможным не только понять причины неоднократного образования и разрушения суперконтинентов (как пример в настоящей статье дана реконструкция дрейфа Сибирского континента за последние полмиллиарда лет), но и предсказывать события, способные изменить карту материков и океанов в будущем



КУЗЬМИН Михаил Иванович – академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (Иркутск). Награжден Орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2008). Лауреат Демидовской премии (2008). Автор и соавтор 377 научных работ



ЯРМОЛЮК Владимир Викторович – академик РАН, заместитель директора Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (Москва). Награжден премией им. академика Обручева (2005). Автор и соавтор более 400 научных работ

Геология как наука, в рамках которой стало возможно проводить экспериментальные исследования, предсказывать причины и проявления геологических, особенно глубинных, процессов, определять возраст различных минералов, пород и геологических структур, оформилась только в XX в. И это несмотря на то, что использование определенных минеральных образований было неотъемлемой частью культуры и хозяйственной деятельности человека с начала его существования. Обобщение разрозненных сведений было выполнено только в 30-х годах XIX в. выдающимся британским геологом Ч. Лайелем в фундаментальном труде «Основы геологии» (Lyell, 1830–1833). В нем были сформулированы основные положения об актуализме и униформизме, которые явились первой парадигмой геологии. С этого времени геология стала развиваться в рамках «нормальной науки» (в понятии Т. Куна).

Однако понадобилось много времени, крупные открытия в сопряженных науках, чтобы геология начала отражать Землю в полном объеме с учетом взаимодействия глубинных, эндогенных процессов с поверхностными процессами. Хочется напомнить, что еще в начале XX в. геологи были убеждены, что возраст Земли

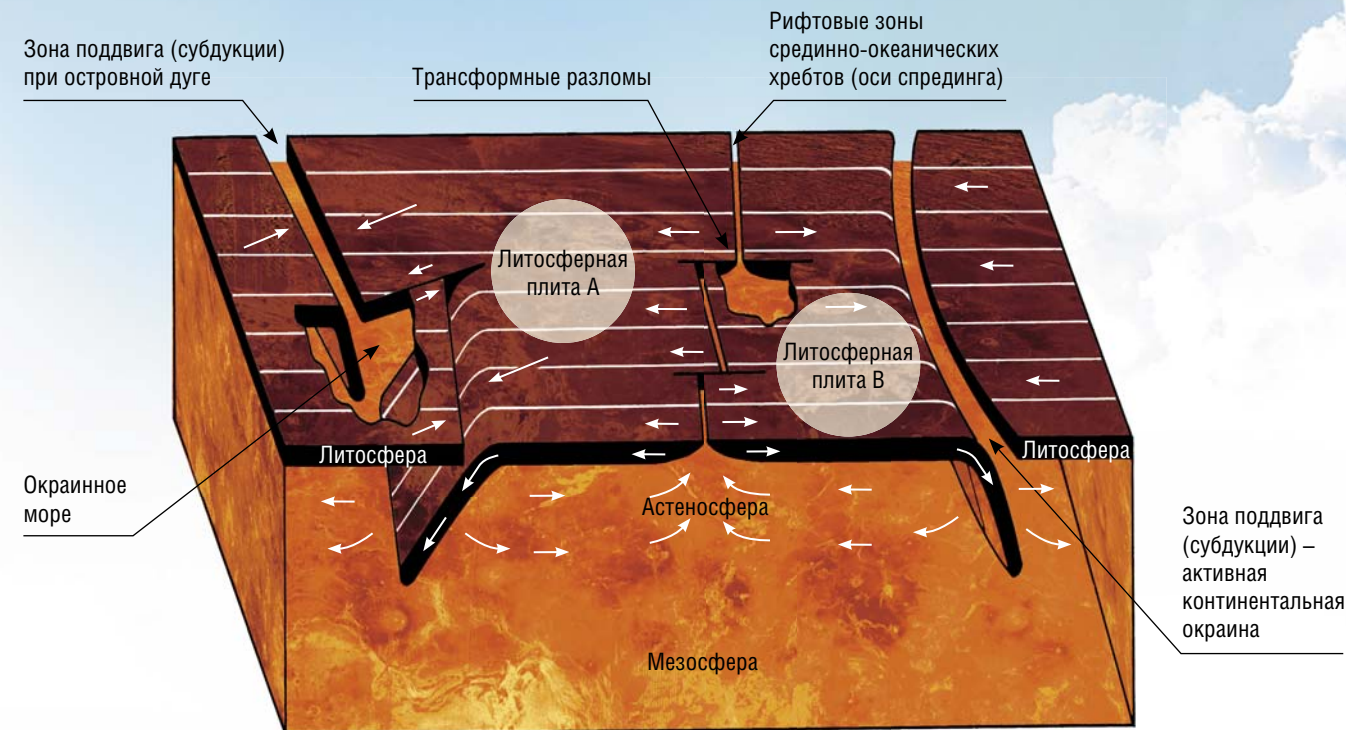
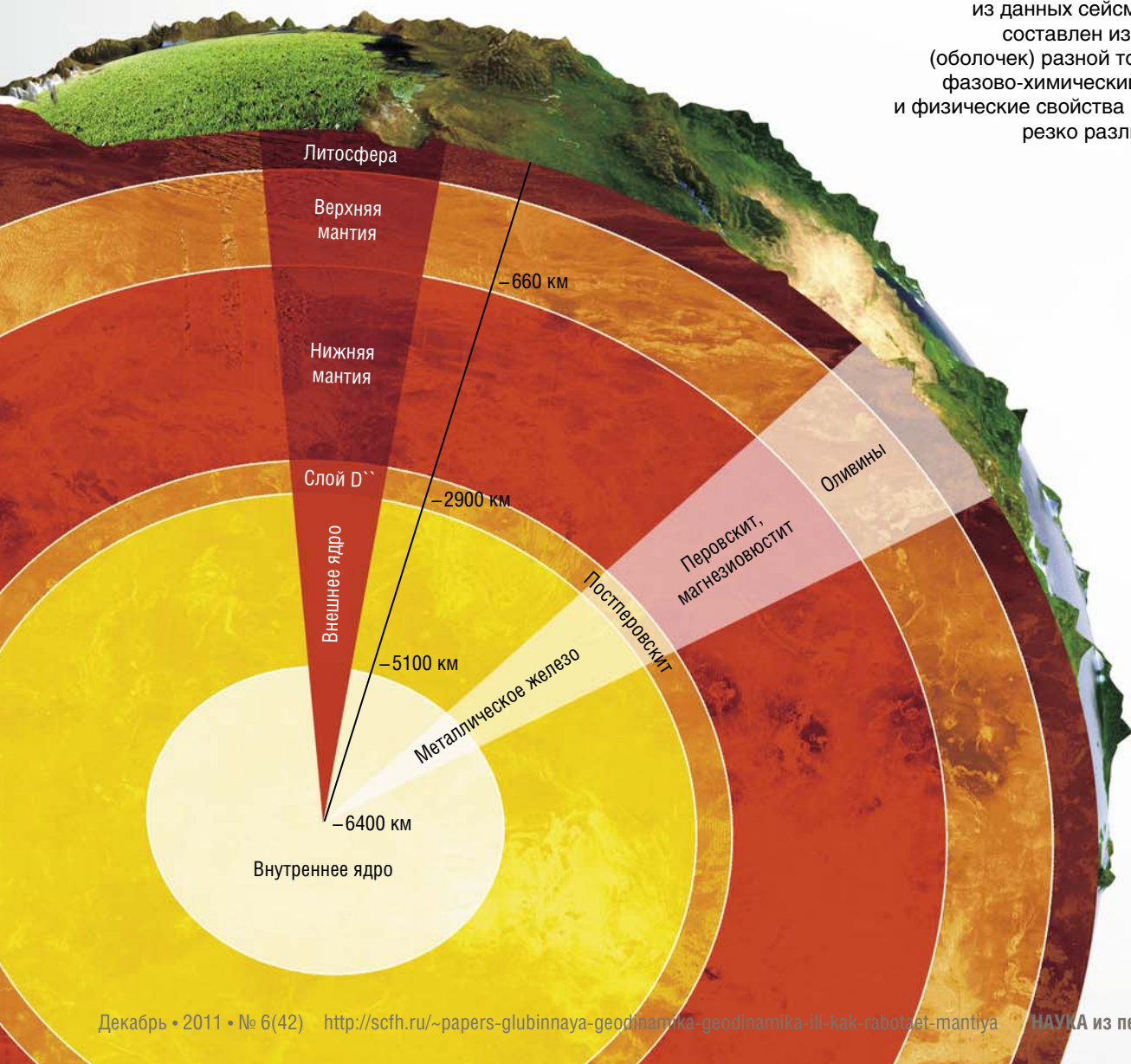
составляет всего 20–100 млн лет, и только открытие радиоактивности, позволившее определять возраст минералов и горных пород, дало инструмент, с помощью которого удалось показать, что возраст нашей планеты составляет около 4,5 млрд лет.

## Скользящие по астеносфере

Для развития геологической науки большое значение имели полученные в прошлом столетии данные о строении Земли. Особо важным стало выделение *литосферы*, в которую включена земная кора. Литосфера характеризуется большой прочностью в отличие от подстилающей ее *астеносферы*, в которой имеется частично расплавленное вещество, в связи с чем в ней могут возникать конвективные потоки. Но все возможные

Почти половина массы Земли состоит из **Mg-перовскита**, который устойчив в широком интервале давлений. Это основной минерал нижней мантии. Наиболее важным геологическим открытием XXI в. стало обнаружение в **D''-слое**, разделяющем нижнюю мантию и ядро, фазы постперовскита. Этот минерал имеет тот же химический состав, но на 2% более высокую плотность, чем перовскит. Фазовый переход перовскита в постперовскит влечет за собой повышение температуры на 50°C. Это, очевидно, и вызывает тепловую конвекцию, приводящую к подъему мантийного вещества от слоя **D''** в верхи мантии

Земной шар, как следует из данных сейсмологии, составлен из «сфер» (оболочек) разной толщины, фазово-химический состав и физические свойства которых резко различаются



Тектоника литосферных плит подразумевает их механическое взаимодействие с мантийной «подложкой». Под влиянием конвекции в астеносфере они перемещаются по горизонтали. Кроме того, в зонах поддвига (субдукции) происходит опускание плиты в мантию, а в зонах спрединга образуется новая океаническая кора – центральные (рифтовые) структуры срединно-океанических хребтов.  
По: (Айзекс, Оливер, Сайкс, 1974)

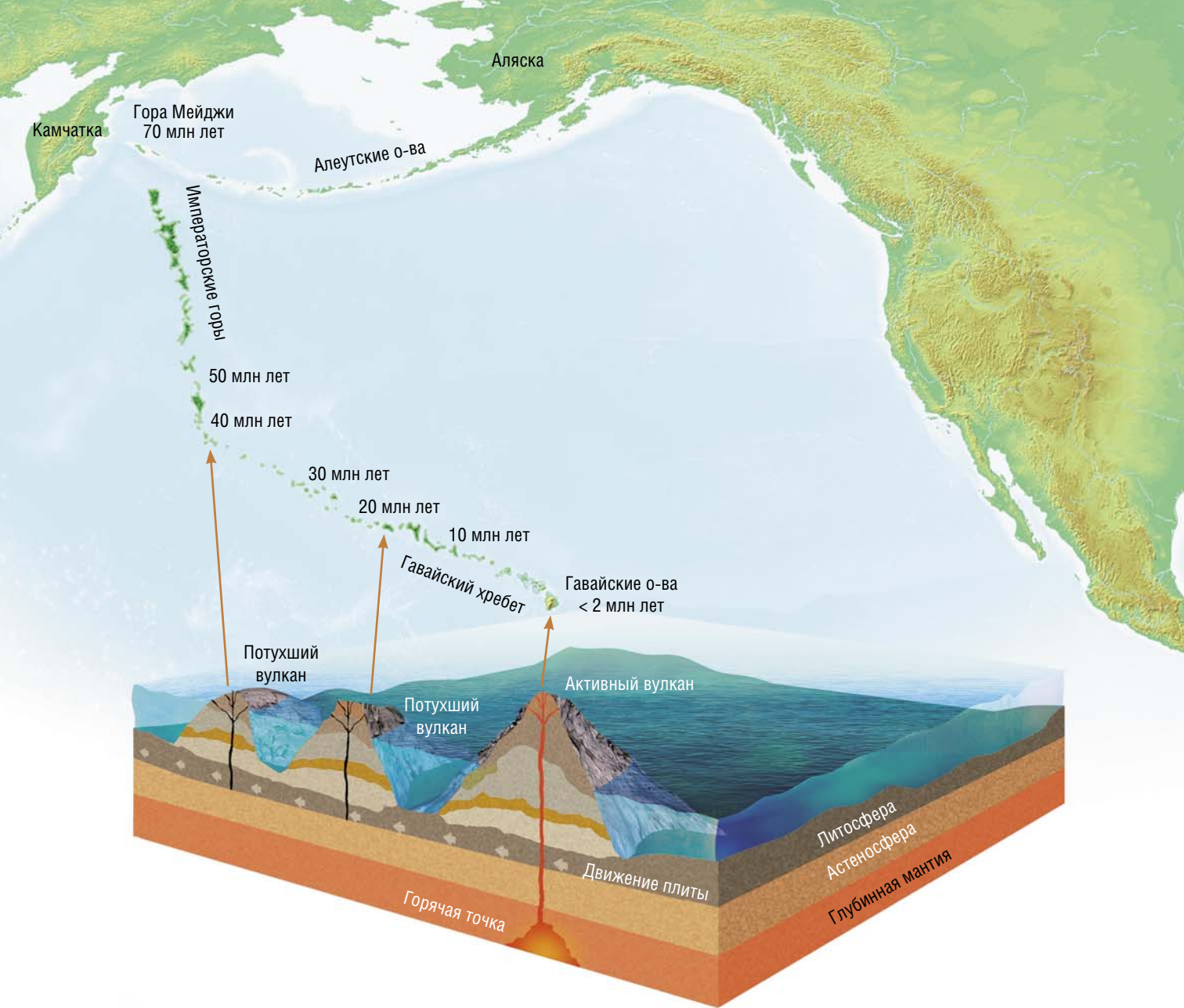
разрывы, а соответственно, глубинные и поверхностные землетрясения, регистрируются именно в литосфере.

Три десятилетия назад в подошве *мантии* (внутренней оболочки) был открыт сравнительно узкий, имеющий мощность 150–350 км, слой *D''*, характеризующийся резким градиентом температуры: примерно от 4000° в подошве до 3000° на верхней границе. Этот слой имеет большое значение, так как до него доходят отдельные куски погружающейся в мантию литосферы и оттуда же начинается подъем глубинного мантийного вещества к поверхности Земли, о чем будет подробнее сказано ниже.

Крупные открытия, сделанные во второй половине прошлого столетия, привели к более полному пониманию особенностей строения и развития нашей планеты, но главное – была сформулирована концепция тектоники литосферных плит. В 1961 г. англичанин Р. Дитц и американец Г. Хесс, анализируя батиметрическую карту дна океанов, пришли к выводу, что срединно-океанические хребты, возвышающиеся над абиссальными долинами на 1–2 км, приурочены

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ ТЕКТОНИКИ ПЛИТ

- Две внешние оболочки Земли – литосфера и астеносфера – взаимодействуют.
- Вещество астеносферы способно к течению, в связи с чем в ней может возникать конвекция, поддерживаемая энергией из внутренних оболочек Земли.
- Литосфера представляет собой внешнюю твердокаменную оболочку Земли, пассивно реагирующую на процессы, протекающие в астеносфере. Она расчленена узкими поясами деформации – зонами, характеризующимися высокой тектонической (в частности, сейсмической) и магматической активностью: рифтовыми срединно-океаническими хребтами и зонами субдукции. Эти зоны «разбивают» литосферу на ряд жестких литосферных плит, которые под действием сил вязкого трения, вызванных конвективными (или иными) потоками в астеносфере, перемещаются относительно друг друга

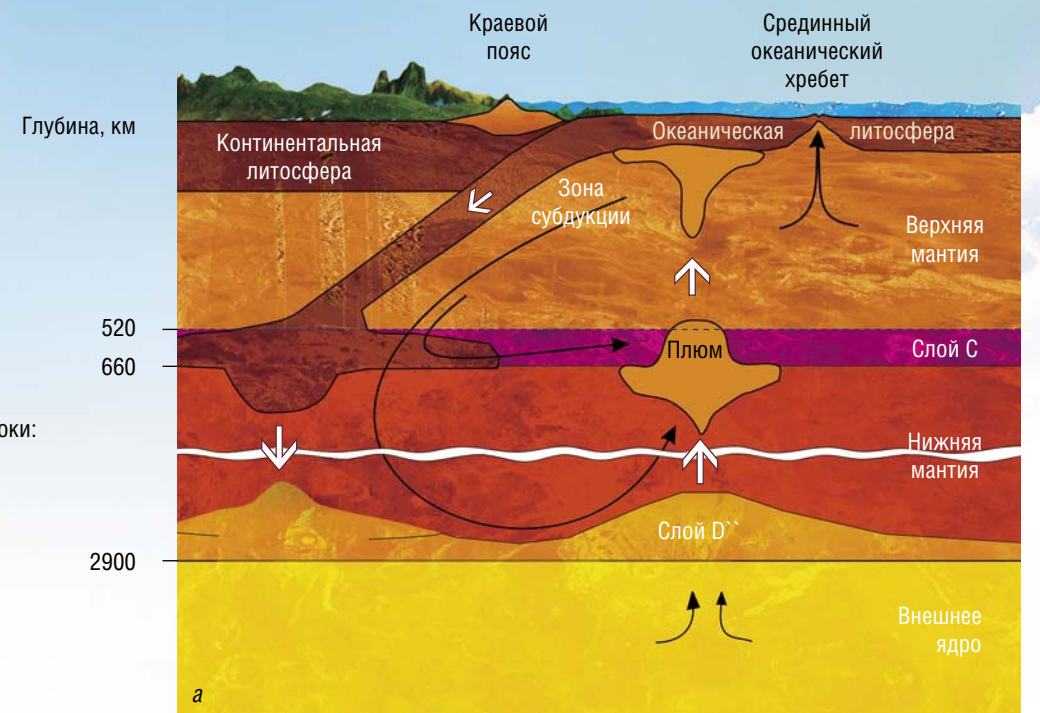


к центральным частям океанов. Наиболее хорошо это видно в Атлантическом океане, где подобный хребет прослеживается вдоль осевой зоны новообразованной коры океанического дна. Процесс разрастания океанического ложа они назвали «sea flow spreading» (растекание океанического дна). Образование новой коры происходит в центральных (рифтовых) структурах срединно-океанических хребтов.

Американцы Ф. Вайн и М. Мэтьюз (1963) подтвердили *спрединг* наличием полосовых магнитных аномалий, образование которых определяется намагниченностью пород океанической коры в соответствии с современной им полярностью планетного магнитного поля. Полярность периодически меняется во времени с прямой (современная полярность) на обратную.

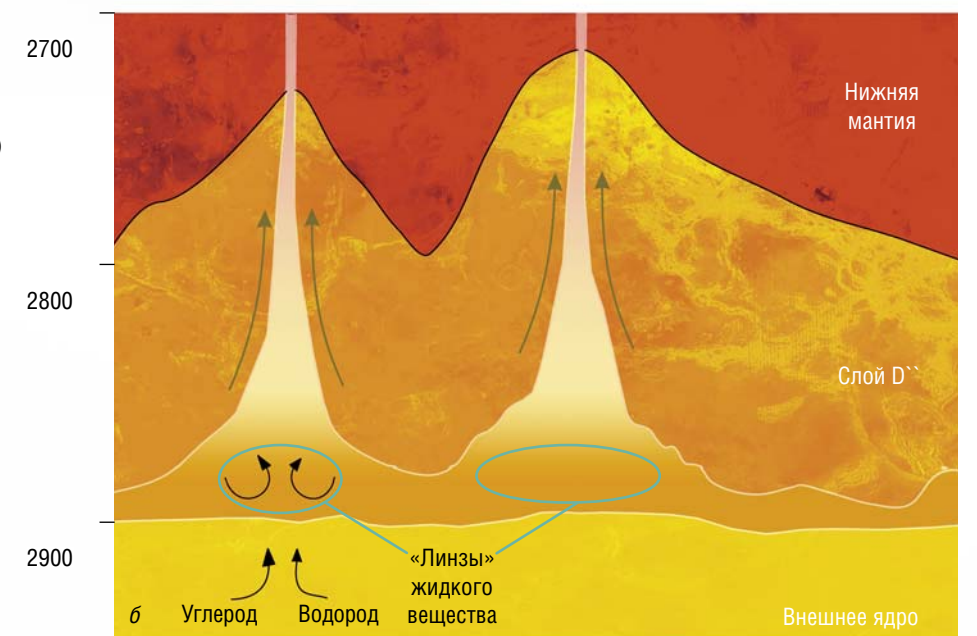
Возраст вулканических островов Гавайско-Императорского хребта в Тихом океане в направлении от о-ва Мейджи до о-ва Гавайи последовательно уменьшается. Формирование подобной островной цепи происходит в результате движения океанской литосферной плиты над неподвижной горячей точкой в мантии.  
*По: (Уилсон, 1963)*

**Принципиальное отличие горячих точек от литосферных плит заключается в том, что перемещаются именно плиты, поэтому они занимают на поверхности Земли разную позицию в разное время, а горячие точки, напротив, долгое время сохраняют свое положение относительно абсолютной системы географических координат**



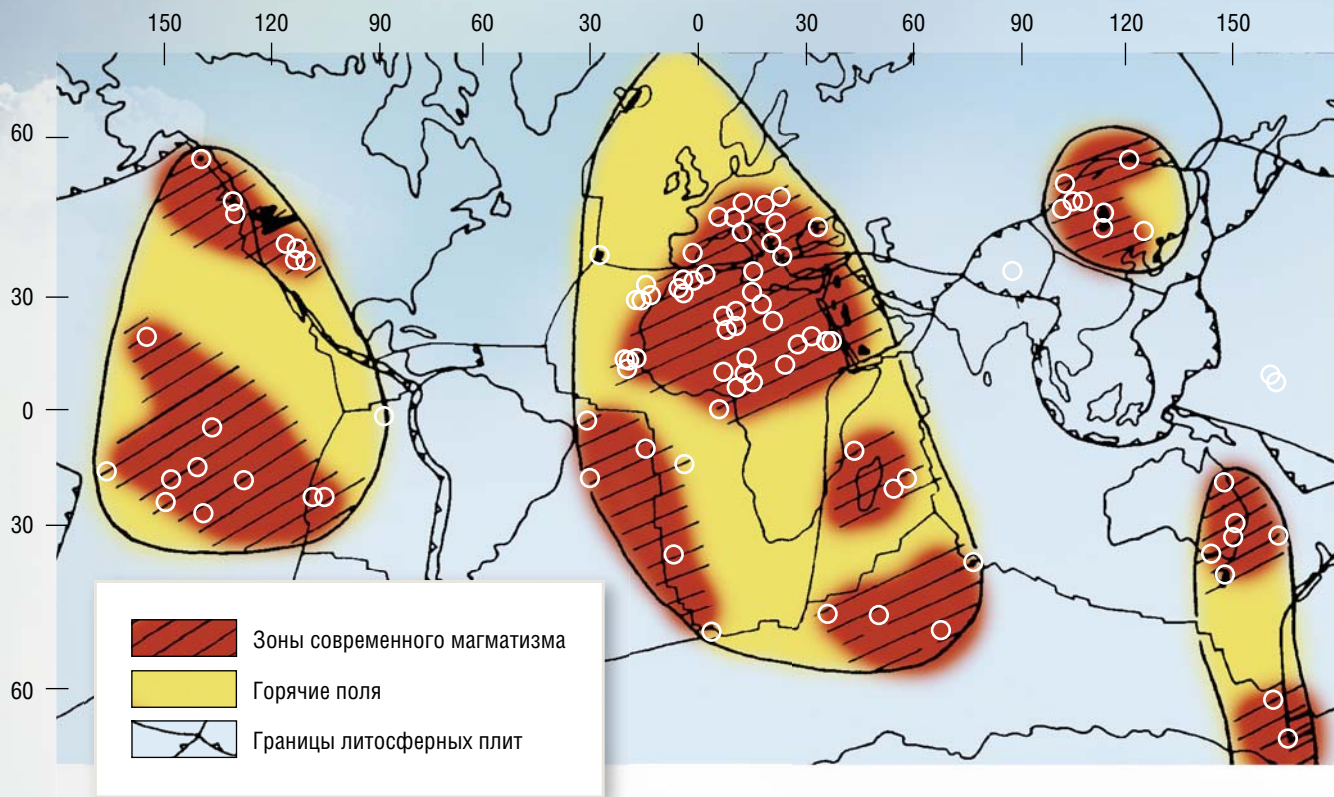
Конвекционные потоки:  
 первичные  
 вторичные

В зоне субдукции происходит погружение литосферной (океанической) плиты в мантию (а). Большая часть плиты задерживается в слое С, но частично материал литосферы опускается и до слоя D'' (пограничный слой между ядром и мантией). В слое D'' происходит зарождение суперплюма (б). Подъем вещества начинается из жидких «линз», которые состоят из частично расплавленного вещества мантии и идентифицируются по ультранизкой скорости распространения сейсмических волн сквозь них. Суперплюм поднимается от слоя D'' в виде гриба, шляпа которого остается в окрестности перехода между верхней и нижней мантией (а). Оттуда вещество поднимается малыми плюмами к поверхности Земли



В 1965 г. канадский геофизик Дж. Уилсон выделил особый тип разломов – трансформных. Их образование связано с горизонтальным перемещением океанической литосферы в стороны от срединно-океанического хребта. В. Морган и ряд других исследователей (1968) показали существенные различия глубинных геофизических структур срединных океанических хребтов и зон островных дуг. Для последних характерен поддвиг – опускание океанической литосферы в мантию до глубин около 600 км. Этот процесс был назван *субдукцией*.

После окончательного формулирования в 1968 г. основных положений тектоники плит, объясняющей современную динамику Земли, эта теория сразу же завоевала признание большинства ученых мира. Так, уже в 1971 г. более трети статей по геологии, опубликованных в журнале *Nature*, было



По поверхностным проявлениям внутриплитового магматизма за последние 15 млн лет были выявлены 47 так называемых горячих точек. Они группируются в четыре весьма обширные (до 10 тыс. км в поперечнике), но компактные зоны, названные «горячими полями мантии Земли»: Африканскую, Тихоокеанскую, Центрально-Азиатскую и Тасманскую (а) (Зоненшайн, Кузьмин, 1983). Границы этих полей примерно совпадают с контурами «низкоскоростных» мантийных провинций (б), выделенных позднее на основе карты поля скоростей распространения сейсмических волн в мантии. Эти области, соответствующие частично расплавленному веществу мантии, часто называют также суперплюмами. Их связь с современными проявлениями вулканизма подтверждается также локализацией на поверхности планеты всех известных на сегодня 49 горячих точек, определенных методом сейсмотомографии. По: (Зоненшайн и др., 1991; Courtillot et al., 2003; Burke, Torsvik, 2004; Burke et al., 2008)

посвящено соответствующей тематике – предложенная концепция дала возможность объяснить большую часть современных эндогенных процессов. В скором времени положения тектоники плит были применены к расшифровке истории формирования горно-складчатых поясов, при этом многие геологи считали, что новая концепция позволяет решить большую часть проблем, связанных с эволюцией Земли.

из глубин нижней мантии, возможно от границы «ядро – мантия». В целом представления о горячих точках предполагали наличие узких (порядка 150 км в поперечнике) мантийных струй (или столбов), которые пронизывают всю толщу мантии, оставаясь неподвижными на протяжении десятков миллионов лет.

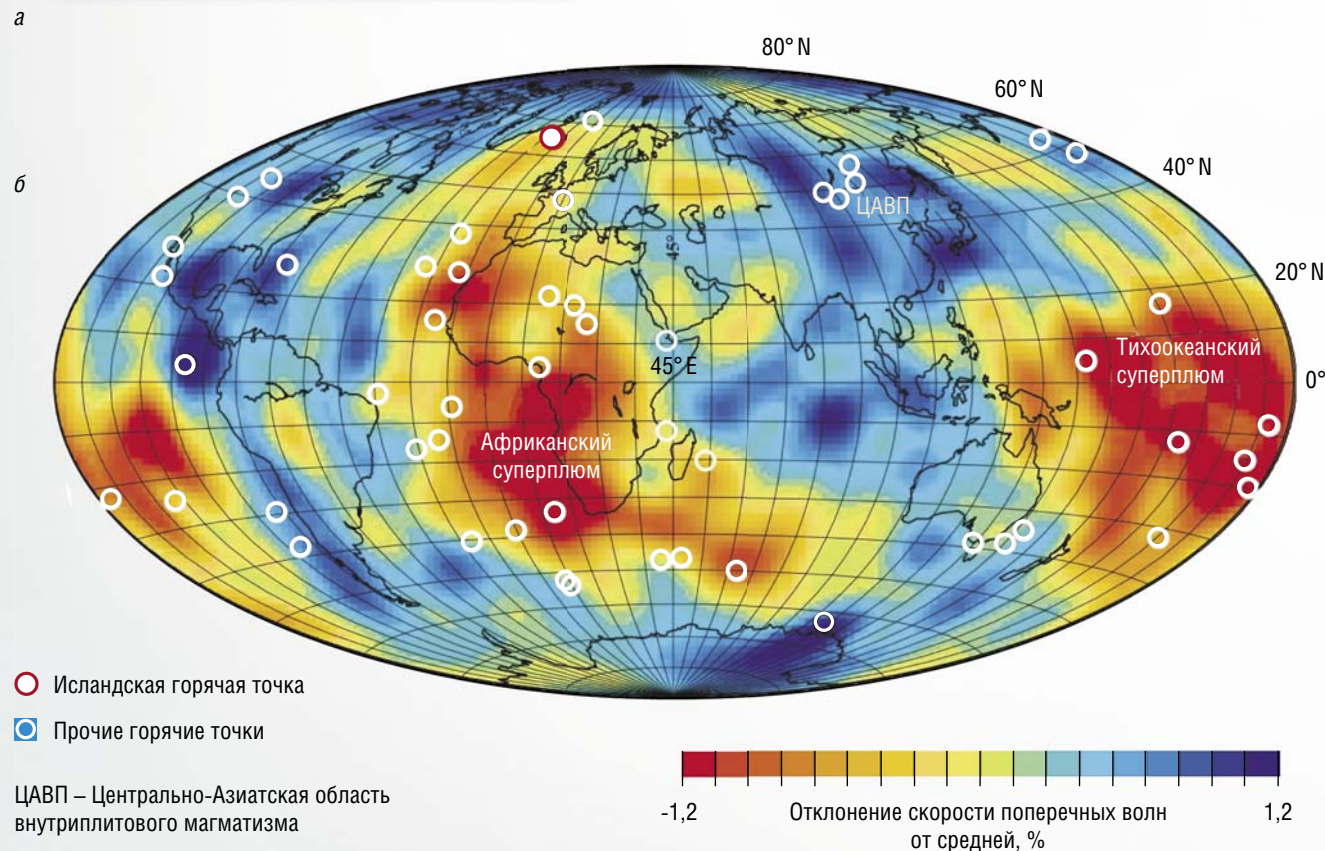
Внутри литосферной плиты, которая стоит над «пятном» разогретой мантии, формируется вулкан; при смещении плиты относительно горячей точки над ней образуется новый вулкан, а в итоге – цепь потухших вулканов, которые фактически трассируют след, прожигаемый горячей точкой на плите.

### По следу горячей точки

Еще в 1963 г., когда только создавались основы тектоники плит, Т. Уилсон (Wilson, 1963) обратил внимание на действующие вулканы, которые располагаются внутри океанических плит и образуют вулканические цепи, ориентированные противоположно по отношению к вектору перемещения океанической плиты. Было сделано предположение, что вулканические цепи связаны с горячими точками мантии, прожигающими литосферу по мере ее прохождения над ними. Принципиальным отличием горячих точек от литосферных плит является то, что литосферные плиты перемещаются по астеносфере и поэтому занимают на поверхности Земли разную географическую позицию в разное время, горячие же точки долгое время сохраняют свое положение относительно абсолютной системы географических координат, тождественной современной.

В этом отношении впечатляющим примером служит Гавайская горячая точка, с которой связано возникновение Гавайско-Императорского хребта, существующего почти 100 млн лет. Эту точку использовали многие исследователи для реконструкции перемещений Тихоокеанской плиты. Следует отметить, что реконструкция по Гавайской точке полностью совпадает с реконструкцией движения Тихоокеанской плиты, восстановленной по полосовым магнитным аномалиям.

Однако ряд исследователей, например (Runcorn, 1980), указывали, что геологические и физико-химические параметры мантии делают маловероятным существование плюмовых столбов. Была выдвинута концепция мембранной тектоники (Turcotte, 1974), согласно которой жесткие литосферные плиты, перемещаясь по эллиптической поверхности Земли, проходят через участки с различным радиусом кривизны, в результате чего в плитах возникают глубокие трещины, которые заполняются базальтовой выплавкой. Особенности состава мантийных выплавок объяснялись только разной глубиной образования магматических расплавов. У нас в стране такое объяснение горячих точек горячо поддерживалось О. Г. Сорохтиным (1979). Однако все эти гипотезы не предполагали наличия каких-либо глубинных структур Земли, влияющих на геологические процессы в верхних оболочках.



○ Исландская горячая точка  
 ○ Прочие горячие точки

ЦАВП – Центрально-Азиатская область внутриплитового магматизма



### ВНУТРИПЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ

Внутриплитовые магматические породы образуют ассоциации пород повышенной щелочности, которые включают в первую очередь базальты, обогащенные литофильными химическими элементами, более свойственные породам коры и не характерные для верхней мантии.

В океанах внутриплитовый магматизм представлен главным образом базальтами океанических плато и островов, которые выделяются в особый геохимический тип базальтов – OIB (ocean island basalt, базальты океанических островов). К их составу близки базальты трапповых провинций, ярким примером которых являются Сибирские траппы.

В пределах континентов элементный состав пород внутриплитовых ассоциаций намного разнообразней, однако между составами базальтов океанических островов и базальтов внутриконтинентальных горячих точек отмечается большое сходство благодаря их соответствию OIB-типу

### Первопроходцы горячих полей

К 1980 г. внутриплитовая магматическая активность была установлена как в океанах (вулканические острова и плато), так и на континентах, где о ее проявлениях свидетельствовали большие геохимические отличия по сравнению с породами, связанными с границами плит. При этом для отдельных горячих точек детально исследовались связанные с ними внутриплитовые магматические породы, особенности их состава и т. п.

Однако работ по анализу общих взаимосвязей горячих точек (как глубинных образований) и поверхностных геологических структур не было. Чтобы восполнить этот пробел в знаниях, видный советский геолог Л. П. Зоненшайн предложил автору этой статьи М. И. Кузьмину рассмотреть данную проблему. Подход был исключительно простым – найти чисто географические закономерности распределения на земной поверхности продуктов внутриплитового магматизма. При этом во внимание были приняты лишь объекты, имеющие сравнительно небольшой (0–15 млн лет) возраст, чтобы возможный дрейф континентов не вносил больших искажений.

Из полученной в результате карты распределения горячих точек следует, что существуют четыре области распространения современного внутриплитового магматизма: две больших – Тихоокеанская и Африканская и две малых – Центрально-Азиатская и Тасманская. Наиболее крупные из них достигают 10 000 км в перечнике (Африканская и Тихоокеанская). Их размеры сопоставимы с размерами главных литосферных плит, однако контуры областей не совпадают с границами этих плит.

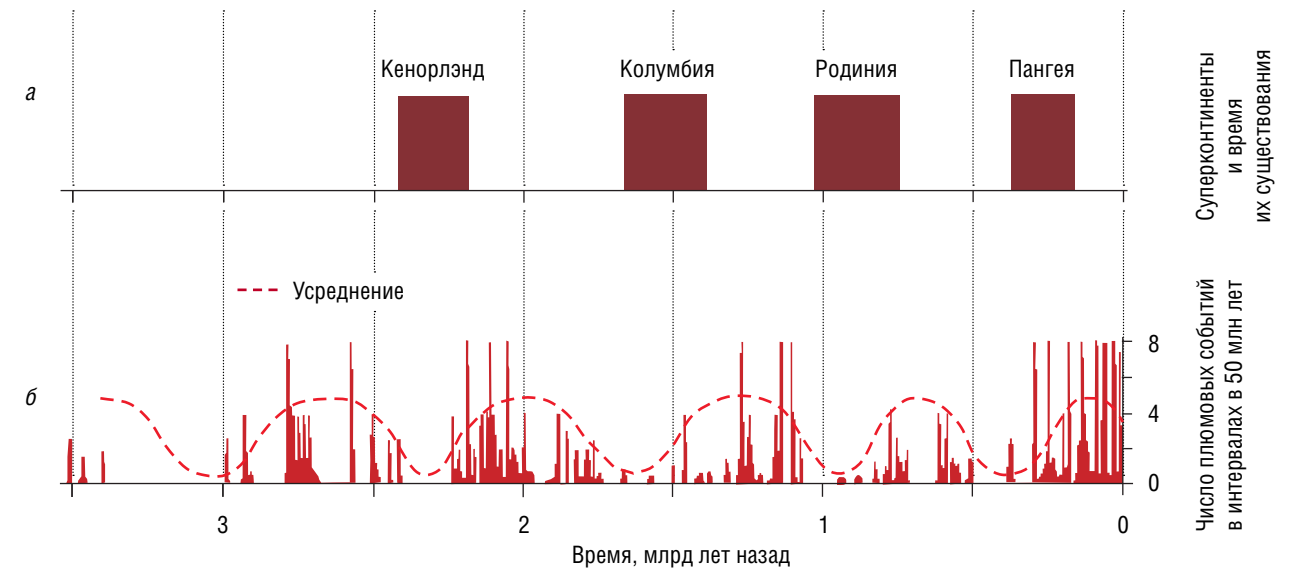
Результаты были опубликованы в статье «Внутриплитовый магматизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли» (Зоненшайн, Кузьмин, 1983), а области распространения внутриплитового магматизма были названы *горячими полями* Земли. Было отмечено, что горячие поля Земли совпадают с крупными положительными аномалиями в рельефе, а также положительными отклонениями формы геоида. Судя по геохимическим особенностям внутриплитовых магматических пород, этим областям отвечают аномалии вещественного состава, по-видимому, связанные с нижней мантией. Последний вывод следует из того, что породы, образующиеся в океанических рифтовых зонах (т. е. на краях плит), являются продуктами плавления верхней, сильно истощенной в геохимическом отношении, мантии – и поэтому имеют очень низкое содержание всех литофильных химических элементов.

Таким образом, выделенные горячие поля мантии Земли можно было представить как области, в которых происходит подъем вещества и энергии нижней мантии к поверхности планеты, а располагающиеся между ними *холодные поля* (связанные с зонами субдукции литосферных плит) – как зоны, в которых вещество опускается в низы мантии. В совокупности эти процессы вырисовывали согласованную систему конвекционных течений в мантии.

Если процессы, связанные с верхними оболочками, можно было описать в рамках тектоники литосферных плит, то обнаружение горячих полей позволило говорить о том, что конвективные явления имеют более глубинную природу. Иными словами, полученные результаты позволили впервые высказать представления о взаимосвязи процессов в нижней и верхней мантии.

Узкие мантийные струи, с которыми связаны горячие точки, могли представлять собой плюмы, отходящие от границы раздела нижней и верхней мантии, куда подходит разогретое вещество нижней мантии. Именно они порождают внутриплитовый магматизм и создают систему горячих точек. Неподвижность отдельных горячих точек относительно мигрирующих над ними литосферных плит определяется фиксированным положением горячих полей в глубинных горизонтах Земли, которое оставалось неизменным в течение как минимум 150 млн лет (Геотектоника, 1983). Заметим, что все эти выводы были сформулированы до появления сейсмоотографии, позволившей геологам понять внутреннюю структуру мантии во всем ее объеме.

К сожалению, информация о горячих полях мантии Земли так и не дошла до мирового геологического сообщества. Англоязычная версия статьи была подготовлена во время пребывания авторов в океанической экспедиции на Цейлоне и отправлена почтой в редакцию журнала *Earth Planetary Science Letters*, но до адресата



В истории Земли предположительно существовали как минимум четыре суперконтинента. Установлены временные интервалы возникновения этих континентов и их раскалывания под действием суперплюмов на отдельные континентальные массивы (а). Эти события происходят циклично и коррелируют с плюмовой активностью (б). Наиболее хорошо изучена история формирования и распада двух суперконтинентов: Родинии и Пангеи. По данным: (Li, Zhong, 2009; Torsvik et al., 2004)

Большую работу по пропаганде в Советском Союзе идей тектоники плит проделал замечательный геолог – член-корреспондент РАН Лев Павлович Зоненшайн (1929–1993). Он был инициатором перевода на русский язык фундаментальных работ по тектонике плит, которые и определили принятие этой парадигмы российским геологическим сообществом. Во многих регионах Советского Союза Зоненшайн создал научные творческие коллективы, задачей которых являлось переосмысление геологических данных с новых позиций. Наконец, он привлек специалиста по петрологии и геохимии магматических пород различных типов активных зон Земли (М. И. Кузьмина) и специалиста по металлогении и ранним (докембрийским) периодам развития Земли (В. М. Моралева) к написанию монографии «Новая глобальная тектоника, магматизм и металлогения». Эта книга вышла в свет в 1976 г. и стала настольной книгой для многих российских геологов, стремившихся изучить основы тектоники плит. Кроме того, он со своими коллегами-друзьями М. И. Кузьминым и Л. М. Натаповым подготовил монографию «Тектоника плит территории СССР» (вышедшую в издательстве «Недра» в 1990 г. и через год изданную за рубежом), ставшую фактически пояснительной запиской к геодинамической карте СССР.

Уже в начале 90-х годов Л. П. Зоненшайн понимал, что геология стоит перед переходом к глубинной геодинамике, охватывающей процессы в объеме всей Земли.

В обращении к третьему международному совещанию по тектонике плит в Звенигороде 25 октября 1991 г. перед сложнейшей операцией он писал: «Назревает новая революция, она рождает новую науку, ее можно было бы назвать ГЛУБИННОЙ ГЕОДИНАМИКОЙ. Тектоника плит входит в нее лишь составной частью. Имеются в виду процессы в нижней мантии и на границе ядро – мантия (многие пионерские работы в этом направлении делались и в нашей стране, и об этом надо помнить)». В тот же день Лев Павлович написал М. И. Кузьмину: «Как мы можем развивать хоть что-то подобное на создание общей теории (глубинной геодинамики) у нас в стране». Он считал, что необходимо развивать следующие направления в геологии: «(1) взаимодействие внешнее ядро – мантия, (2) слой D'' и его геодинамика, (3) обмен и потоки вещества ядро – нижняя мантия – верхняя мантия, (4) глубинная геохимия и geochemical signature (особенности геохимии мантии), (5) историческая геохимия и историческая геодинамика, начиная с аккреции Земли до сегодня. Совсем не упомянул внутреннее ядро, ничего почти не знаем о нем, а может быть, outer – inner core interactions (взаимодействие внешнего и внутреннего ядра) – главное?».

В конце письма он писал: «Уверен, что международное научное сообщество с этими задачами справится, а мы выпадаем. Большая просьба как-то все же действовать, чтобы моя уверенность (в смысле нашего выпадения) оказалась напрасной».



не дошла. Полноценной копии не было, начались работы над другими задачами. Отсутствие подготовленной аудитории привело к тому, что эта идея на какое-то время была забыта.

## Сейсмотомография – ключ к пониманию глубинных процессов

В 70–80-х годах прошлого столетия в результате совершенствования вычислительной техники и роста количества исследований по сейсмологии большое развитие получила сейсмотомография. На основе анализа скоростей прохождения сейсмических волн через тело Земли в ее мантии выделены крупные объемы, имеющие разные скорости прохождения этих волн. Благодаря этому факту и работе многих исследователей были сделаны очень важные выводы.

На Земле существуют две большие «низкоскоростные» провинции: Африканская и Тихоокеанская, которые в настоящее время также называются *суперплюмами*, так как данные сейсмотомографии показывают, что «низкоскоростное» мантийное вещество проследивается от слоя D'' до верхов мантии. Следует заметить, что проекции этих мантийных провинций на поверхности Земли совпадают с выделенными ранее горячими полями мантии Земли.

В отличие от них высокоскоростные мантийные провинции ассоциируются с холодными областями, которые характеризуются опусканием и поглощением литосферных плит мантией в зонах субдукции. Субдуцированная (поглощаемая) литосфера частично остается на границе верхней и нижней мантии, а частично погружается до слоя D'', расположенного на границе «ядро – мантия». Этот процесс формирует общемантийную конвекцию: «холодное» субдуцированное вещество в виде нисходящих потоков погружается в глубь мантии Земли, компенсирующий подъем горячей мантии происходит в виде мантийных плюмов. Погрузившееся в слой D'' вещество литосферы под влиянием энергии, поступающей от ядра, формирует частично расплавленные массы (Keagey *et al.*, 2009), которые являются зародышами поднимающихся к поверхности Земли горячих плюмов.

Горячая мантия суперплюмов в виде огромного облака поднимается через нижнюю мантию, распадаясь на ряд изолированных плюмов, которые образуют скопления горячих точек в верхней мантии в литосфере. Сопряженность восходящих и нисходящих потоков в мантии позволила предполагать тесную связь между процессами глубинной геодинамики, которым отвечают мантийные плюмы, и тектоникой плит.

Наиболее убедительным аргументом связи тектоники плит и тектоники плюмов является взаимосвязь про-

цессов образования суперконтинентов и суперплюмов в единых суперконтинентальных циклах. В настоящее время установлено, что в процессе эволюции Земли возникали суперконтиненты, объединяющие практически все континентальные массы Земли. В дальнейшем они разрушались под действием суперплюмов, и движения отдельных континентов становились центробежными. Исследователи предполагают, что в разное время на нашей планете существовали как минимум четыре суперконтинента (Кенорленд, Колумбия, Родиния и Пангея), которые в дальнейшем разбивались зародившимися под ними суперплюмами.

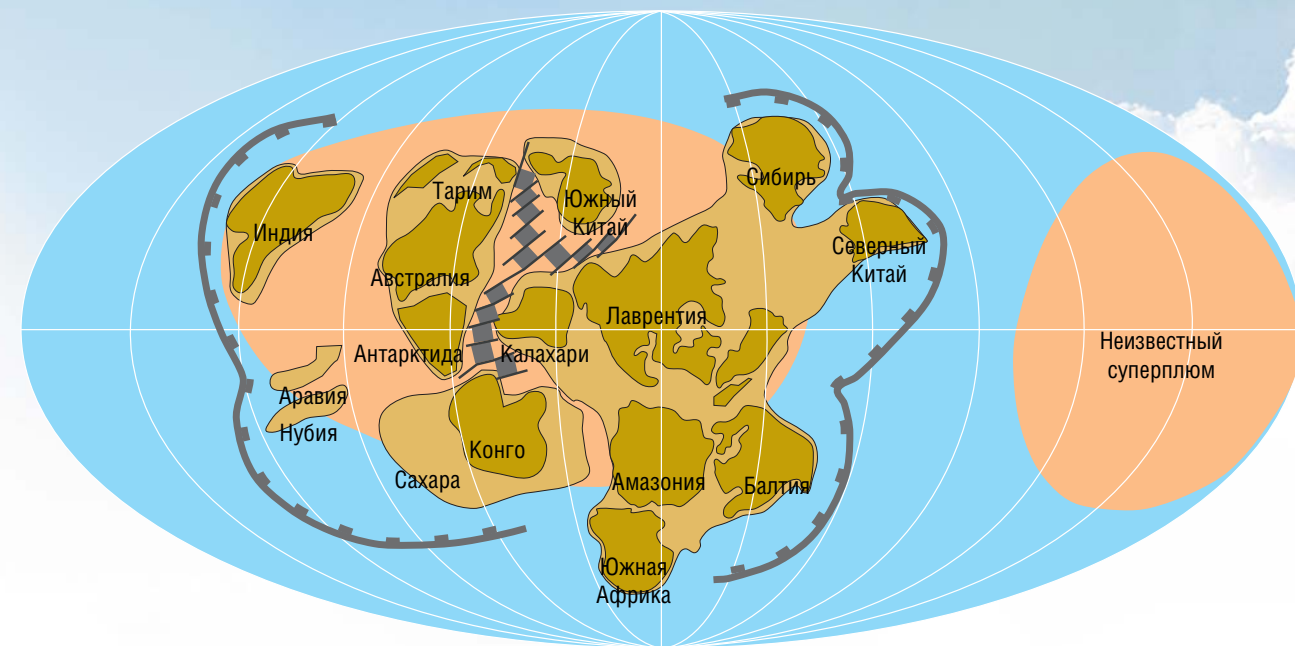
Суперконтинент Родиния сформировался около 1 млрд лет назад и начал распадаться спустя примерно 250 млн лет под воздействием расположенного под ним Родинийского суперплюма. Предполагается, что одновременно с Родинийским существовал антиподальный ему суперплюм, расположенный в океане в противостоящем Родинии секторе Земли. После распада Родинии составляющие ее континенты, в том числе и Сибирь, могли переместиться в соответствующие области позднерифейского океана.

Попытка решения задачи абсолютных георекоkonструкций была предпринята в работе, опубликованной в журнале *Earth-Science Review* (Kuzmin *et al.*, 2010). Полученные результаты позволили ответить на ряд вопросов, связанных с оценкой роли плюмов в геологической истории Земли и особенно с пониманием места горячих полей мантии Земли среди движущих механизмов ее развития.

## Исландская горячая точка и дрейф Сибирского континента

Для того чтобы понять историю формирования Сибири в фанерозое, авторами были выполнены палеогеодинамические реконструкции. Для определения широтного положения геологических объектов в геологическом прошлом одним из ключевых является палеомагнитный метод. Для определения долготного положения требуются дополнительные построения.

При интерпретации установленных палеомагнитным методом данных был сделан вывод, что после распада Родинии Сибирь была выдворена за пределы суперконтинента и попала под влияние суперплюма, антиподального Родинийскому. Именно с этим суперплюмом, по-видимому, большую часть фанерозоя взаимодействовал Сибирский континент. Но для того, чтобы выполнить соответствующие абсолютные (т.е. привязанные к современной сетке географических координат) палеорекоkonструкции, необходимо было определить положение проекции этого суперплюма на земной поверхности или, что то же самое, отвечающее ему горячее поле мантии.



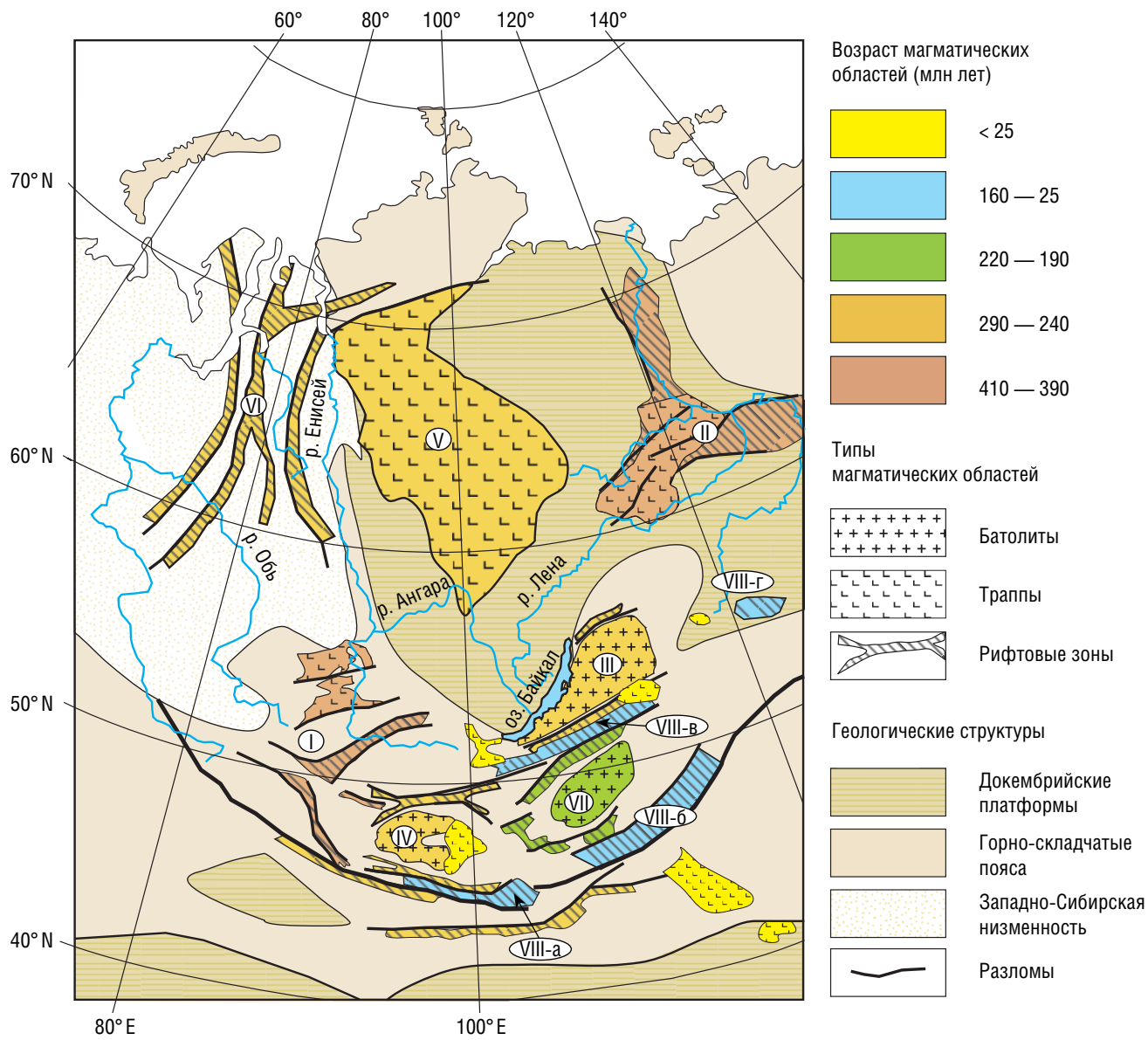
- Океаны
- Древние кратоны (континентальные платформы)
- Континентальный шельф
- Проекция горячих полей мантии
- Рифтовые зоны
- Зоны субдукции

Результат реставрации Родинийского плюма, который был ответственен за раскол Родинии. После распада составляющие ее континенты (в том числе и Сибирь), вероятно, перемещались в соответствующие области позднерифейского океана и могли оказаться под влиянием другого суперплюма. Его местонахождение можно ожидать в противоположной Родинии области Земли – по аналогии с Пангеей. Так, распад последней произошел под влиянием Пангейского (Африканского) суперплюма, хотя в то же время на планете существовал и антиподальный по отношению к нему Тихоокеанский суперплюм, активность которого зафиксирована системой горячих точек (Гавайи, Лайн и др.) и меловыми лавовыми плато (например, Онтонг-Ява).

По данным: (Li, Zhong, 2009)

Было принято решение использовать для этого Исландскую горячую точку, имеющую неизменное географическое положение в длительном интервале геологического времени. Так, судя по следу, оставленному этим плюмом в литосфере Сибири, Северной Америки и Северной Атлантики, он однозначно существует уже как минимум 150 млн лет. Кроме того, ряд исследователей считает, что 250 млн лет тому назад он же определил формирование Сибирской трапповой провинции. Действительно, пермо-триасовая палеоширота Сибирских траппов ( $62^\circ \pm 7^\circ$ ) приблизительно соответствует современной географической широте Исландии ( $65^\circ \pm 2^\circ$ ). Кроме того, данные по элементному составу относимых к Исландской горячей точке базальтов Западно-Сибирской рифтовой системы, Сибирских траппов, базальтов Арктического бассейна, Восточной Гренландии и Исландии свидетельствуют об изотопно-геохимических связях этих проявлений мантийного магматизма. Так, соотношение изотопов Sr и Nd в этих разновозрастных базальтах образует единый тренд в интервале времени от 300 млн лет назад до современности (Kuzmin *et al.*, 2010).

Все эти сопоставления позволяют говорить о том, что северная граница Африканского горячего поля (суперплюма), фиксируемая Исландской горячей точкой, уже существовала к рубежу 250 млн лет. Была освещена и более ранняя страница в его истории: в статье (Torsvik *et al.*, 2008) показано, что большая изверженная провинция с центром в Скагерракском грабене (Северное море), охватывающая огромную территорию от Англии до Германии и Швеции, существовала около 300 млн лет назад. В то время ее центр располагался в краевой



**ВНУТРИПЛИТОВЫЙ МАГМАТИЗМ СИБИРСКОЙ ЧАСТИ АЗИАТСКОГО КОНТИНЕНТА**

В разных областях Сибири обнаружены многочисленные позднерифейские и венд-кембрийские офиолитовые и островодужные комплексы, в которых содержатся породы, отвечающие базальтам типа OIB, характерные для океанических плато или океанических островов. Из этого следует, что в океане, окружавшем Сибирский континент, около 600 млн лет назад существовали океанические острова, образованные горячими точками. Такие же горячие точки действовали и на сам континент, в результате чего в его пределах сформировался ряд областей внутриплитного магматизма. Практически весь фанерозой, вплоть до самого последнего времени (> 25 млн лет), континент и его ближайшее океаническое окружение находились под влиянием горячего мантийного поля – суперплюма (Ярмолук и др., 2006; Kuzmin *et al.*, 2010; Кузьмин и др., 2011). Так, после распада Родинии наиболее раннее взаимодействие литосферы Сибирского континента с мантийными плюмами пришлось на ранний и средний палеозой и привело к образованию двух крупных магматических провинций – Алтае-Саянской и Вилюйской. В первой неоднократно происходило образование комплексов щелочных магматических пород, свойственных мантийным плюмам. Расцвет внутриплитной активности в области был сопряжен с образованием системы грабенов (или рифтов), возникшей над крупным мантийным плюмом. Их образование сопровождалось крупномасштабными излияниями базальтовых лав, в том числе типа OIB. Другая изверженная провинция сформировалась в виде 3-лучевой системы рифтовых зон, одна ветвь которой представлена Вилюйским рифтом, а две другие ветви – краевыми расколами, определившими восточную (в современных географических координатах) границу палеоконтинента. По каждой из этих областей было сформировано не менее  $10^5$  км<sup>3</sup> изверженных пород, сформированных в узком (продолжительностью 20–30 млн лет) интервале, что позволяет отнести их к разряду крупнейших изверженных провинций. В среднем девоне магматическая активность резко сократилась. Следующая эпоха активного взаимодействия Сибири с мантийными плюмами пришлось на интервал 320–190 млн лет назад. В это время в ее пределах возникло несколько крупных магматических провинций. Одна из них – Баргузинская – охватывает территорию более  $2 \cdot 10^5$  км<sup>2</sup> и характеризуется зональным строением: периферию образуют рифтовые зоны, а в центре располагается Ангаро-Витимский гранитоидный батолит. Предполагается, к его образованию привело масштабное плавление коры из-за теплового воздействия базальто-

вых магм. Т.е. эта центральная зона является примером формирования внутриплитовых гранитоидных пород под воздействием мантийного плюма. Важнейшим событием конца позднего палеозоя на Северо-Азиатском континенте стало образование гигантской магматической провинции, объединяющей трапповую область Сибирской платформы и рифтовую систему Западной Сибири. Наиболее интенсивное их формирование, по оценкам, происходило в очень узком (3 млн лет) интервале времени. Вулканизм был связан с грабенами Западно-Сибирской рифтовой системы, которые прослеживаются через всю Западно-Сибирскую низменность от ее южной границы до акватории Ледовитого океана, имея протяженность более 1500 км. В этот же период внутриплитовым магматизмом было охвачено и южное складчатое обрамление Сибири. Здесь сформировались траппы Тарима и сопряженная с ними система субпараллельных рифтовых зон в пределах Монголии: Гоби-Тяньшаньская и Главного Монгольского линиамента (разлома). Прогрессивному смещению центров плюмовой магматической активности в глубь Сибирского континента отвечают две другие рифтовые системы: Гоби-Алтайская и Северо-Монгольская. Одновременно со становлением последних двух зон между ними возник Хангайский гранитоидный батолит, формирование которого также связывается с плавлением коры под воздействием внутриплитных источников тепла. Становление рифтовой системы Центральной Азии завершилось образованием зонального Монголо-Забайкальского магматического ареала в раннем мезозое. К рубежу 190 млн лет внутриплитовая активность резко сократилась, обозначив окончание соответствующей эпохи внутриплитового магматизма. Однако воздействие мантийных плюмов на литосферу Сибирского палеоконтинента возобновилось в позднем мезозое, когда в пределах Центрально-Азиатского обрамления Сибирской платформы образовался ряд рифтовых областей. Расцвет тектонической и магматической активности пришелся на начало раннего мела. Последующий этап характеризовался постепенно затухающей магматической активностью: в ряде областей в это время формировались отдельные небольшие по размерам лавовые поля и щитовые вулканы. Новая вспышка внутриплитной активности пришлось на позднекайнозойскую эпоху (< 25 млн лет), охватив территорию Центральной и Восточной Азии. В это время сформировались новые вулканические области: Южно-Байкальская и другие, что было связано с зарождением серии новых горячих точек.

Продукты внутриплитового магматизма океанического типа сохранились в структурах Сибирского палеоконтинента, зафиксировав таким образом активность суперплюма, антиподального Родинийскому. Так, в складчатых поясах, обрамляющих Сибирь, широко распространены внутриплитовые породы океанического генезиса, возраст которых соответствует временам после распада Родинии. Кроме того, в пределах Сибирской платформы в результате взаимодействия континента с горячими точками мантии на протяжении фанерозоя был сформирован целый ряд крупных изверженных провинций. По данным: (Ярмолук и др., 2000, 2003, 2006), модифицировано

Крупные изверженные провинции:  
 Ранний – средний палеозой:  
 I – Алтае-Саянская,  
 II – Вилюйская;  
 Поздний палеозой:  
 III- Баргузино-Витимская,  
 IV - Центрально-Азиатская,  
 Пермо-триасс:  
 V – Сибирские траппы,  
 Ранний мезозой:  
 VI – Западно-Сибирская рифтовая система,  
 Позднемезозойские – кайнозойские рифтовые системы:  
 VII – Восточно-Монгольская-Забайкальская;  
 VIII-a – Южно-Хангайская (Гоби-Алтайская);  
 VIII-б – Восточно-Монгольская;  
 VIII-в – Западно-Забайкальская;  
 VIII-г – Центрально-Алданская

части Африканского горячего поля, а именно вблизи его экваториальной зоны. В соответствии с этими данными, тогдашние контуры Африканской мантийной провинции были близки к современным.

Учитывая меридиональную вытянутость Африканского горячего поля и ее географическую стабильность, зафиксированную Исландской горячей точкой за последние 250 млн лет, было сделано предположение, что перемещения Сибири по широте в фанерозое были ограничены рамками этого поля. Соответственно, меридиональные границы Африканского суперплюма (между 10° з.д. и 70° в.д.) были приняты за рамки, в пределах которых Сибирь меняла долготную позицию. При этом ее широтные перемещения были существенно более значительны, что следует из данных многих авторов, обобщение которых сделал геофизик В. А. Кравчинский (Кузьмин и др., 2011 а). На основании этих реконструкций была составлена схема дрейфа Сибирского континента, начиная от 570 млн лет назад до современности.

## Откуда приплыла Сибирь

Есть многочисленные свидетельства того, что Сибирь перемещалась, начиная с конца рифея (~600 млн лет назад), через область развития мантийных плюмов. По палеомагнитным данным установлено, что в Джидинском (Южная Бурятия) фрагменте древней океанической коры базальты типа OIB формировались на 15–20° S, т. е. уже 570 млн лет назад Сибирский континент помещался в пределах влияния Африканской «низкоскоростной» мантийной провинции (LLSVP).

В течение раннего кембрия, по данным (Pisarevsky *et al.*, 1997), долготная позиция Сибирского континента в пределах Африканского горячего поля мантии была определена меридианом 20° E. Начиная со среднего кембрия, Сибирь стала двигаться в северном направлении от 20° S, приблизившись почти к экваториальной широте в раннем и среднем ордовике. При этом в интервале от 512 до 480 млн лет назад меридиональная составляющая скорости движения достигла 5 см/год. Если допустить, что было еще и смещение по долготе, то суммарная скорость должна быть выше. Важно подчеркнуть, что полученная величина является относительно высокой по сравнению с современными темпами дрейфа континентов. Поэтому естественно предположить, что сдвиг поперечно меридиану был минимальным.

Реконструкции перемещения Сибири в более позднее время (вплоть до пермо-триасса) опирались на данные по зафиксированным в ее строении следам горячих точек – Алтае-Саянской, Вилюйской, Баргузинской (Сибирских траппов) и Монгольской. Эти реконструкции показали, что в предположении фикси-

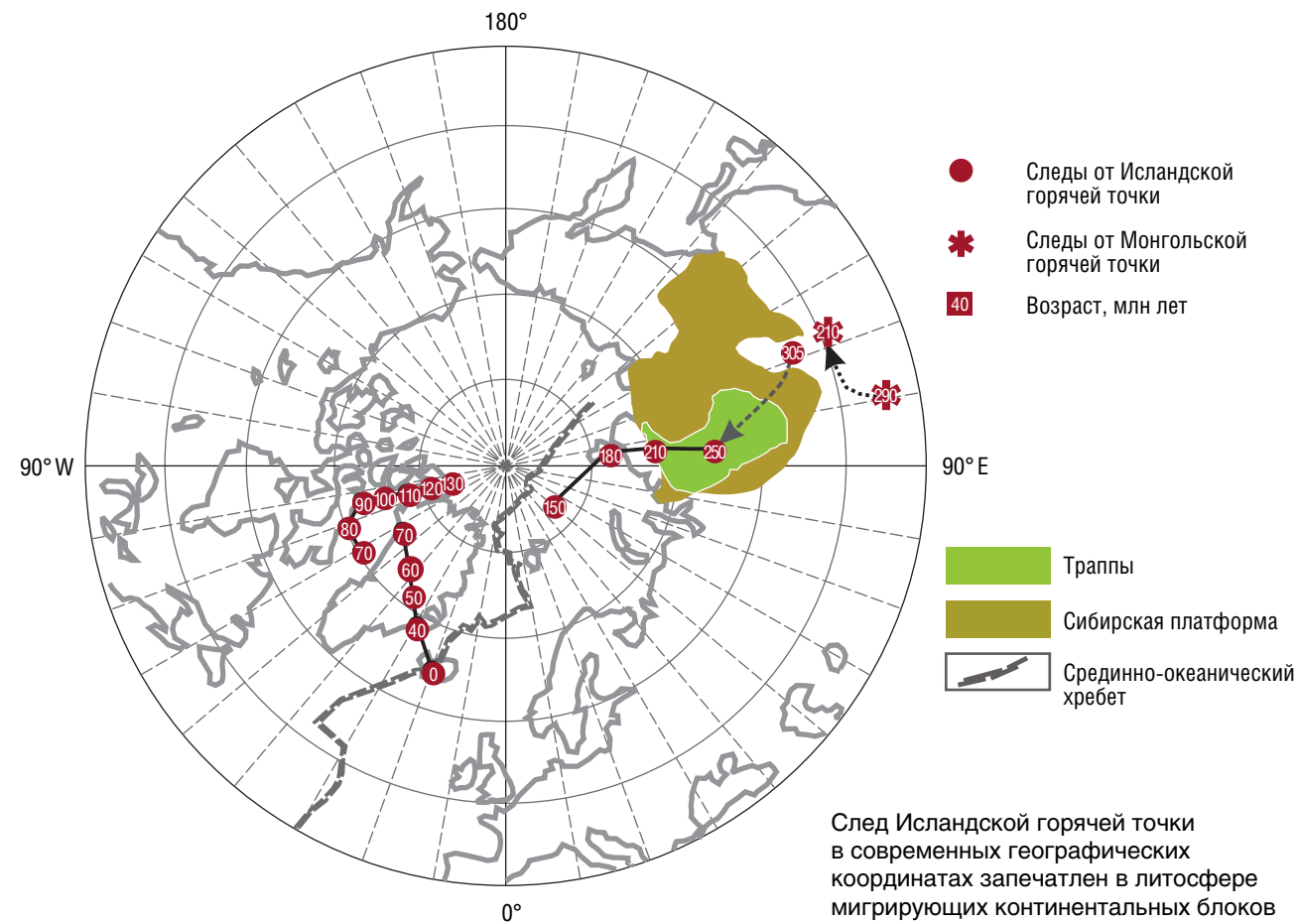
рованной меридиональной позиции Сибири скорость ее перемещения в северном направлении составляла около 7 см/год.

Наиболее ранний мантийный плюм, который проявился в структуре Сибирского континента, повлиял на характер развития Алтае-Саянской области еще в ордовике (Добрецов, 2011). Позднее, в раннем девоне, после столкновения Алтае-Саянской области с Сибирью этот плюм (координаты 40 ± 15° N: 0° E) способствовал возникновению тройной системы грабенов Алтае-Саянской рифтовой области. К середине девона Сибирь продолжала располагаться над Алтае-Саянской горячей точкой, которая благодаря вращению континента перекрыла Вилюйскую горячую точку (координаты 35 ± 15° N и около 20° W). Воздействие последней на литосферу привело к образованию грабенов Вилюйской рифтовой системы и расколу континента в его восточной части. После того как континент отошел от этих горячих точек, их следы затерялись. Более длительное воздействие на Сибирский континент оказали Исландская и Монгольская горячие точки, ответственные за ряд магматических ареалов Центральной Азии.

Как следует из палеомагнитных данных, в раннем карбоне Сибирь переместилась за 40 млн лет от 30° к 60° N, т. е. средняя скорость составила примерно 11 см/год. Столь высокая величина указывает на то, что перемещение происходило вдоль меридиана, т. е. практически отсутствовал сдвиг континента в параллельном экватору направлении. Это перемещение привело к столкновению и к тому, что южная (в современных координатах) Забайкальская окраина Сибири накрыла Исландскую горячую точку (Kuzmin *et al.*, 2010). Взаимодействие плюма со структурами этой окраины привело к образованию Баргузинского зонального магматического ареала с батолитовым Ангаро-Витимским ядром и периферическими рифтовыми зонами. Столь специфическая форма выражения плюмовой активности определялась особенностями проявления плюма в субдукционной обстановке активной континентальной окраины, которые привели к масштабному анатексису (плавлению) коры.

Вращение Сибири по часовой стрелке на протяжении пермского периода (от 280 до 250 млн лет назад) привело к миграции магматизма, связанного с Исландской горячей точкой от Баргузино-Витимского ареала к провинции Сибирских траппов. Соответствующий след движения Сибири прослеживается по палеомагнитным данным, в частности по перемагничиванию древних пород в Озерном полиметаллическом и Сухоложском золотом месторождениях на пермо-триасовую ориентацию (Kuzmin *et al.*, 2010).

Одновременно с Баргузино-Витимским ареалом другой внутриплитный магматический ареал возник



След Исландской горячей точки в современных географических координатах запечатлен в литосфере мигрирующих континентальных блоков Арктического бассейна.  
По данным: (Kuzmin *et al.*, 2010; Харин, 2000; Lundin, Dore, 2005; Lawver, Muller, 1994)

в Южной Монголии, где сформировались рифтовые зоны Гоби-Тяньшаньская и Главного Монгольского линиаменты (310–285 млн лет), а также траппы Тарима. Их образование было связано с Монгольской (или Таримской) горячей точкой. Вращение Сибири в перми и раннем мезозое, которое привело к смещению местоположения Сибирских траппов над Исландской точкой, определило также миграцию магматизма над Монгольской горячей точкой в Забайкалье. Эта миграция привела к образованию Хангайского и Восточно-Монгольского-Забайкальского зональных магматических ареалов, подобных по своему строению Баргузинскому.

В мезозое Сибирь двигалась от Исландской горячей точки и это смещение зафиксировано следом магматических проявлений, который сформировался на протяжении мезозоя в Арктическом бассейне. Проведенные реконструкции показали, что тогда Сибирь вышла из-под влияния Африканского горячего поля, и

в интервале между 190 и 160 млн лет назад внутриплитная магматическая активность в пределах Сибирского континента не зафиксирована.

Активизация внутриплитных процессов в южном обрамлении Сибирской платформы в позднем мезозое и кайнозое была связана с образованием здесь ряда долгоживущих горячих точек мантии, которые сохраняют свою устойчивую географическую позицию на протяжении более 140 млн лет. Эти горячие точки тяготеют к скоплению мантийных плюмов, выявленному Жао (Zhao, 2009) в пределах юго-западной окраины Тихого океана, которое, по-видимому, отвечает одному из ответвлений Тихоокеанского суперплюма. Поэтому можно полагать, что к началу позднего мезозоя Сибирь существенно сместилась к востоку и попала в сферу влияния Тихоокеанского плюма. Столь быстрое широтное перемещение Сибирского континента, по-видимому, произошло вследствие раскрытия в это время Атлантического и Индийского океанов.

Суммируя вышеизложенное, прежде всего можно сказать, что Земля представляет собой самоорганизующуюся систему, развитие которой сопряжено со взаимодействием ее внутренних оболочек. Это взаимодействие проявляется в процессах разномасштабной конвекции.

Верхнемантийная конвекция приводит в движение литосферные плиты. В свою очередь ее энергетическая подпитка обеспечивается более глубокой конвекцией, которая определяется, с одной стороны, процессами в зонах субдукции, где происходит погружение «холодных» литосферных блоков в глубины мантии вплоть до границы с ядром, что порождает противотоки более горячей мантии к поверхности Земли; с другой стороны, обменные процессы на границе ядра и мантии приводят к значительному разогреву последней, возможно, вплоть до ее плавления в слое D<sup>''</sup>. Такая перегретая и менее плотная мантия обретает повышенную плавучесть и также устремляется кверху, стимулируя в конечном счете процессы общемантийной конвекции.

В отличие от нисходящих потоков субдуцированных слэбов, имеющих геометрию крупных пластин с большими линейными размерами, подъем горячей мантии к поверхности Земли происходит в виде отдельных струй или мантийных плюмов. В настоящее время установлено, что такие восходящие струи мантии в основном сконцентрированы в двух секторах Земли, которые поэтому выделяются как суперплюмы: Тихоокеанский и Африканский. Нижняя мантия этих суперплюмов характеризуется повышенной температурой и в сейсмических полях выделяется областями пониженных скоростей распространения волн, что позволяет выделять их также в виде крупнейших низкоскоростных мантийных провинций.

Очевидно, что роль таких суперплюмов в формировании структуры литосферной оболочки Земли трудно переоценить. И здесь возникает вопрос об их природе – когда и почему зарождается суперплюмы, какова длительность их существования, насколько стабилен режим их воздействия на литосферу?

Определенный вклад в решение этих вопросов вносят выполненные авторами исследования. Прежде всего, они зафиксировали то, что проявления внутриплитной активности в пределах Сибирского континента в течение всего фанерозоя стали следствием его миграции над скоплением горячих точек, которое сопоставляется с современным Африканским суперплюмом и отвечающей ему LLSVP. Непрерывность внутриплитной активности в рамках этого суперплюма позволяет говорить о его возрастной идентичности суперплюму, антиподальному тому, который разрушил Родинию. Следовательно, этот суперплюм существует не менее одного миллиарда лет. А учитывая то, что Родинийский суперплюм сопоставляется с Тихоокеанским по месту

своего проявления, оба этих суперплюма следует рассматривать как наиболее долгоживущие глубинные структуры Земли.

Связь суперплюмов с процессами формирования и разрушения суперконтинентов в настоящее время является общепризнанной. Но последние результаты позволяют говорить, что осколки суперконтинентов, после их разрушения суперплюмом-убийцей, перемещаются в области Земли, контролируемые антиподальным суперплюмом, и образуют над ним новую суперконтинентальную агломерацию. Такое участие суперплюмов в образовании и последующем разрушении суперконтинентов, по-видимому, отражает их противофазную активность, вероятно, связанную с разным проявлением отвечающих им конвективных процессов, одной из причин которой мог стать эффект термостатирования (Коваленко и др., 2010; Kovalenko *et al.*, 2010).

Наконец, следует сделать вывод прогнозного характера. Тот факт, что при образовании суперконтинента, в частности Пангеи, отдельные континенты проходят над разновозрастными горячими точками суперплюмов и сохраняют в своем строении их следы, позволяет предполагать, что уже в ближайшем будущем существующие методы изучения магматических пород позволят дать оценку эволюции их мантийных источников как для отдельных плюмов, так и для суперплюмов в целом. В конечном итоге это будет способствовать пониманию общих закономерностей эволюции Земли.

#### Литература

Айзекс Б., Оливер Дж., Сайкс Л. Сейсмология и новая глобальная тектоника // Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. С. 133–179.

Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН; филиал «Гео», 2001. 407 с.

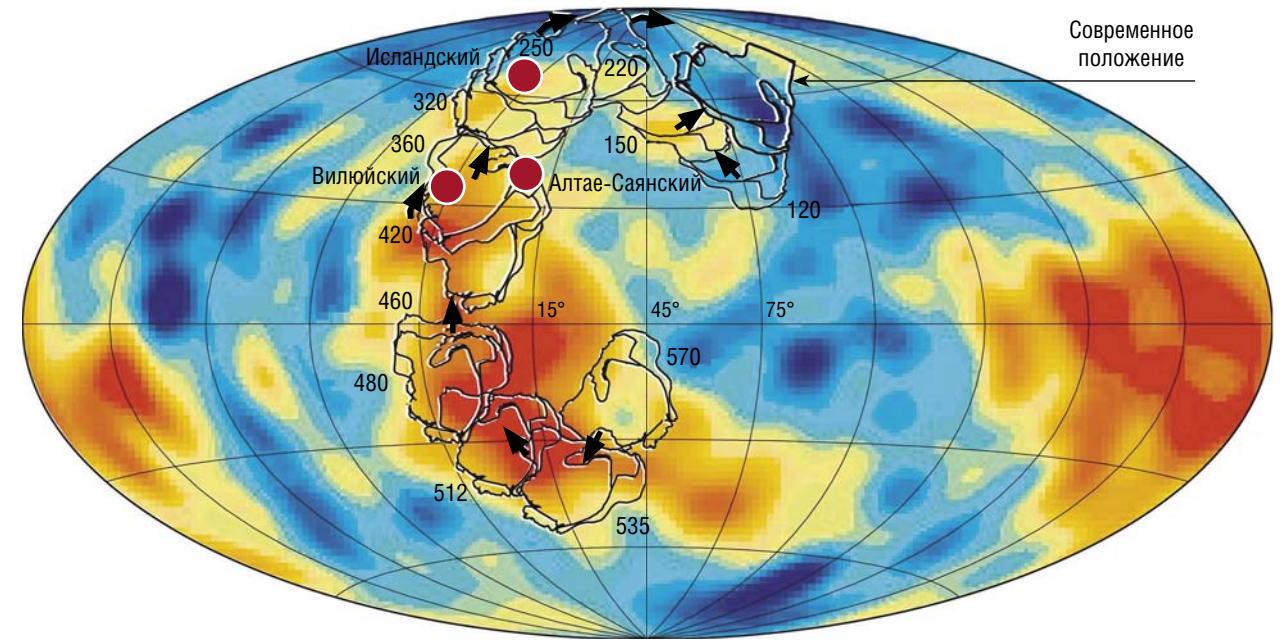
Добрецов Н.Л., Борисенко А.С., Изох А.Э., Жмодик С.М. Геодинамическая модель пермтриасовых мантийных плюмов Евразии как основа прогноза рудных месторождений // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 9. С. 1159–1187.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Внутриплитовый вулканизм и его значение для понимания процессов в мантии Земли // Геотектоника. 1983. № 1. С. 28–45.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Палеогеодинамика. М.: Наука, 1992. 192 с.

Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР: в 2 кн. М.: Недра, 1990. Кн. 1. 326 с. Кн. 2. 334 с.

Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы (отв. ред.



На основе палеорекострукции получена схема миграции Сибирского континента над Африканской мантийной провинцией за последние 570 млн лет. По: (Kuzmin *et al.*, 2010)

- ➔ Перемещение континента
- 220 Возраст в млн лет, отвечающий положению континента
- Мантийные плюмы

В.И. Коваленко, В.В. Ярмолук, О.А. Богатиков). Т. 2: Новейший вулканизм Северной Евразии: закономерности развития, вулканическая опасность, связь с глубинными процессами и изменениями природной среды и климата. ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН, 2008. 430 с.

Кузьмин М.И., Ярмолук В.В., Кравчинский В.А. Абсолютные палеогеографические реконструкции Сибирского континента в фанерозое: к проблеме оценки времени существования суперплюмов // Докл. Акад. наук, 2011 а. Т. 437. № 1. С. 68–73.

Кузьмин М.И., Ярмолук В.В., Кравчинский В.А. Фанерозойский внутриплитный магматизм Северной Азии: абсолютные палеогеографические реконструкции африканской низкоскоростной мантийной провинции // Геотектоника. 2011б. Т. 45, № 6. С. 3–23.

Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. М.: Научный мир, 2003. 348 с.

Харин Г.С. Импульсы магматизма Исландского плюма // Петрология. 2000. Т. 8, № 2. С. 115–130.

Condie K. C. Mantle Plumes and their Record in Earth History. Cambridge University Press, 2001. 305 p.

Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Bogatikov O.A. Modern Volcanism in the Earth's Northern Hemisphere and Its Relations with the Evolution of the North Pangaea Modern Supercontinent and with the Spatial Distribution of Hotspots on the Earth: The Hypothesis of Relations between Mantle Plumes and Deep Subduction // Petrology. 2010. Vol. 18, No. 7. P. 657–676.

Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province // Earth-Science Review. 2010. Vol. 102. No. 1–2. P. 29–59.

Li Z.X., Zhong S. Supercontinent–superplume coupling, true polar wander and plume mobility: plate dominance in whole-mantle tectonics // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 2009. 176, 143–156.

Maruyama S., Santosh M., Zhao D. Superplume, supercontinent, and postperovskite: mantle dynamics and anti-plate tectonics on the core–mantle boundary // Gondwana Research. 2007. 11 (1–2). 7–37.

Morgan W.J. Deep mantle convection plumes and plate motions // Bull. Am. Assoc. Petroleum Geol. 1972. Vol. 56. P. 203–213.

Yuen D.A., Maruyama S.H., Karato S.-I., Windley B.F. Superplumes: Beyond Plate Tectonics. Springer, 2007. 569 p.

Авторы благодарят Вадима Кравчинского, который, к сожалению, не принимал участия в написании этой работы, но без его обоснования абсолютных реконструкций Сибирского континента невозможно было бы получить научные результаты, популярное изложение которых авторы представляют в настоящей статье

# ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ глубинные мантийные ПЛЮМЫ – ИСТОЧНИК рудного богатства планеты



*В земной коре встречаются богатейшие залежи цветных и благородных металлов. Каково их происхождение? Новосибирские геологи выработали концепцию «термохимического плюма» – глубинного лифта, доставляющего ценный груз от ядра планеты к поверхности. На основе опытных данных и моделирования построена схема формирования рудных месторождений, которая, вероятно, облегчит их поиск и разработку*

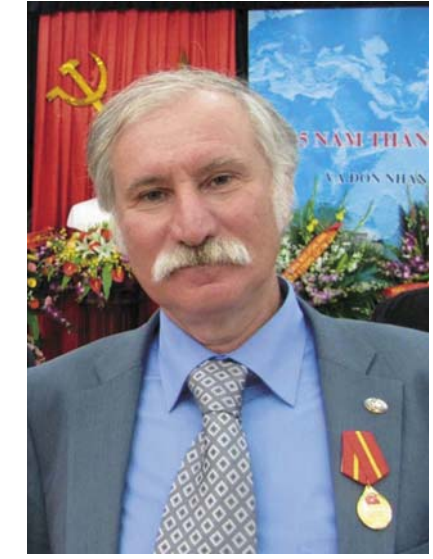
**Ключевые слова:** крупные изверженные провинции, расслоенные интрузивы, петрология.  
**Key words:** large igneous provinces, layered intrusion, petrology



ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич – академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, председатель Объединенного ученого совета наук о Земле РАН, советник РАН Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. Автор и соавтор 720 научных работ. Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»



БОРИСЕНКО Александр Сергеевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией рудно-магматических систем и металлогении Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН. Автор и соавтор 376 научных работ



ИЗОХ Андрей Эмильевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией петрологии и рудоносности магматических формаций Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН. Автор и соавтор 250 научных работ

В конце прошлого века в геологии совершилось несколько революций во взглядах на причины глобальных геологических процессов, ответственных за эволюцию оболочек Земли. Во-первых, была создана теория литосферных плит, в рамках которой разработаны модели зон спрединга, где происходит рождение океанической коры, и зон субдукций, где кора погружается в мантию и рождается новая континентальная кора. Основные положения этой теории вошли в школьные учебники. Во-вторых, получила широкое развитие теория мантийных плюмов – подъема тепла и вещества из глубинных зон Земли в виде локальных струй.

Считается, что мантийные плюмы независимы от тектоники плит. В качестве примера можно привести Гавайский и Императорский подводные вулканические хребты, которые представляют собой след на Тихоокеанской океанической плите, движущейся над плюмом – Гавайской горячей точкой. Однако в книге академика В. Е. Хаина (2003) показано, что в истории нашей планеты есть эпохи, в которые преобладала тектоника плит, тогда как в другие более широко была проявлена тектоника плюмов.

Сейчас развивается новая парадигма геологии – глубинная геодинамика, оценивающая природу глобальных процессов с учетом взаимодействия разноглубинных, вплоть до ядра, оболочек Земли (Добрецов, 2011). Такой подход стал возможным благодаря сейсмической томографии, позволяющей выявлять неоднородности в мантии за счет различий в скорости прохождения сейсмических волн сквозь разные среды (Zhao, 2010; Кулаков и др., 2011). Достигнуты успехи в экспериментальной петрологии высоких и сверхвысоких давлений, позволившие обосновать фазовый состав нижней мантии и границы «ядро – нижняя мантия» (Core Mantle Boundary, CMB). При этом показано, что в периоды усиления плюмовой активности погружение океанических плит возможно вплоть до этой границы, что вызывает образование на ней слоя пониженной вязкости (слой D<sup>``</sup>).

Данные сейсмотомографии и петрологии показывают, что в слое D<sup>``</sup> на границе CMB фиксируются две крупные неоднородности, которые ответственны за формирование плюмов и суперплюмов. Это Восточно-Африканское и Тихоокеанское горячие поля, которые

на основании эмпирических данных впервые были выделены академиком М. И. Кузьминым и Л. П. Зоненшайном (Кузьмин, Ярмолюк, 2011).

Работы последних 10–15 лет показали широкое участие разномасштабных плюмов в различных тектонических процессах, объясняющих образование суперплюмов. Их проявления привели к выделению и изучению магматизма крупных изверженных провинций (Large Igneous Province – LIP), выяснению роли в их формировании мантийных струй (плюмов), мантийно-корового взаимодействия и металлогении.

Анализ геологических процессов, связанных с проявлением мантийных плюмов, позволяет выявить специфическое оруденение в ареалах их развития и объяснить условия зарождения и развития мантийных и мантийно-коровых рудообразующих систем, функционирование которых нередко приводит к формированию крупных и уникальных рудных месторождений. Такой анализ проведен на примере Евразийского континента, где в позднем палеозое и раннем мезозое развивались процессы, связанные с проявлением разновозрастных мантийных плюмов: Центрально-Европейского (320–300 млн лет), Таримского (290–270 млн лет), Сибирского (260–230 млн лет) и Эмейшанского (260–240 млн лет), – что привело к образованию LIP со специфической металлогенией.

В настоящей статье рассматриваются лишь некоторые главные вопросы из всего комплекса проблем, связанных с формированием суперплюмов и, соответственно, LIP и освещенных в научной литературе (Добрецов, 2008):

- механизм зарождения плюмов, тепловая и термохимическая модели;
- сейсмограмма и изотопно-геохимические доказательства зарождения плюмов на границе «ядро – нижняя мантия»;
- взаимодействие плюма с астеносферой и литосферой;
- последовательность и длительность формирования магматических и рудных ассоциаций;
- металлогеническая специализация глубинных плюмов и связь с ними уникальных месторождений полезных ископаемых.

## Плюм с добавкой

В ранних экспериментах (Whitehead, Luther, 1975; Olson, Singer, 1985) плюмы моделировались инъекцией малоплотных и маловязких флюидов в более плотные жидкости и была предложена модель структуры плюма («head-and-tail» – грибообразная голова и тонкая ножка (Campbell, Griffiths, 1990)), которая демонстрируется в Музее естественной истории Ч. Дарвина в Лондоне.

Однако эта модель обнаружила много противоречий с реально наблюдаемыми фактами.

Более корректной является модель термохимического плюма, основанная на физическом эксперименте, и на численном моделировании, подтвержденная геологическими данными (Добрецов и др., 2003, 2005, 2006).

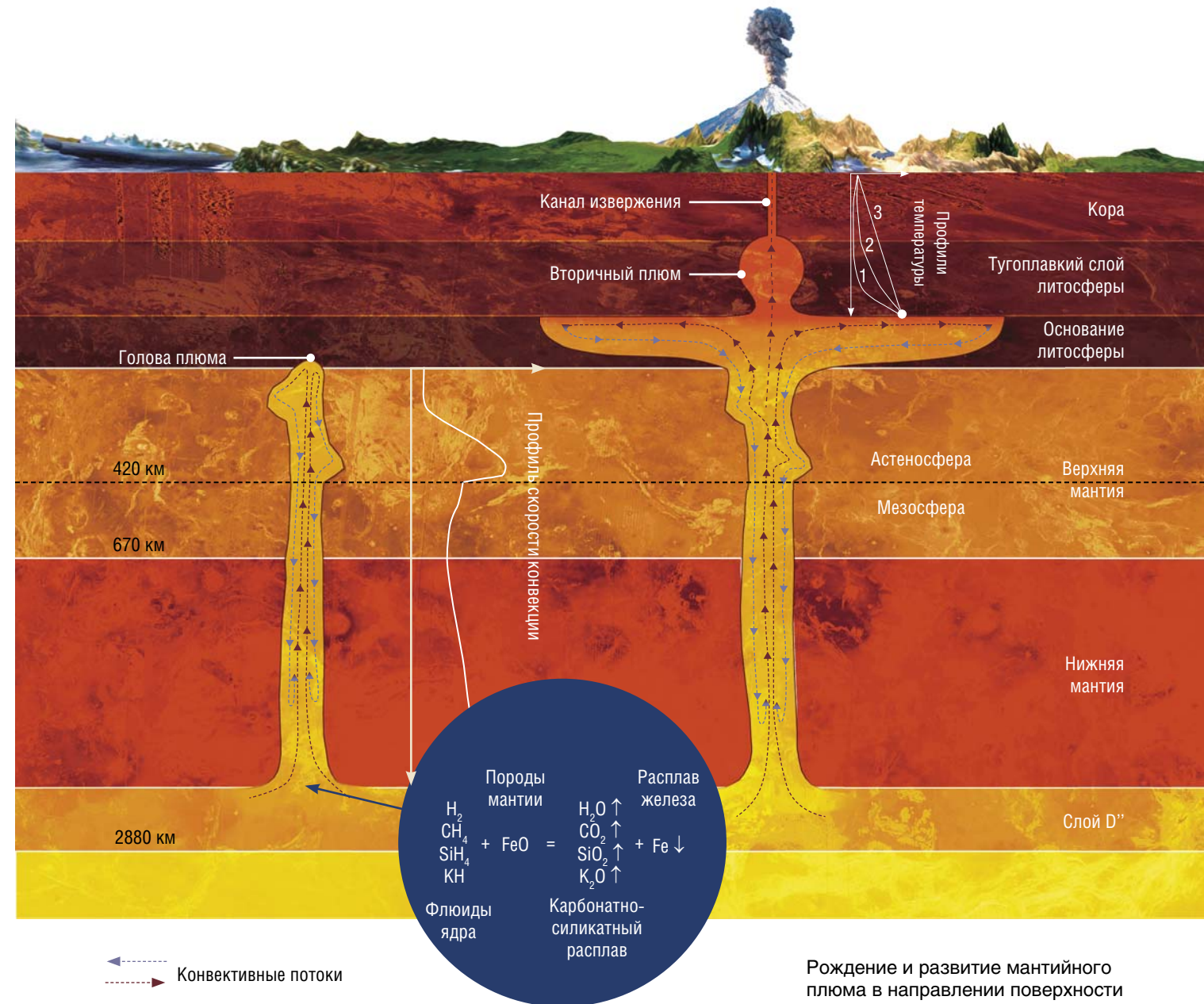
Согласно этой модели, термохимические плюмы представляют собой своеобразную «газовую горелку». Снижение температуры плавления на границе СМВ достигается за счет химической добавки «летучего» компонента. Можно предполагать, что в понижающей температуру плавления добавки главными будут водородные и углеродные соединения, выделяющиеся из металлического ядра (гидриды щелочных металлов, карбиды и элементарный водород). При их окислении железосодержащими окислами нижней мантии образующиеся газообразные оксиды  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  формируют (вместе с водородом и продуктами реакции –  $\text{CH}_4$  и др.) восходящий поток, а восстановленное до металлического состояния железо стекает в жидкое ядро.

Расчеты показывают, что для начала процесса достаточно около 3 %  $\text{CO}_2$  и (или)  $\text{H}_2\text{O}$ . Для глубинных плюмов можно предполагать преобладание  $\text{CO}_2$ . Это подтверждается широким участием карбонатов и кимберлитов как на ранних, так и на заключительных этапах развития LIP. По-видимому, наиболее глубинными являются калиевые карбонатитовые расплавы, которые обладают минимальной вязкостью и высокой растворимостью оксидно-силикатных компонентов.

Для Гавайского плюма получены детальные сейсмографические изображения, показывающие, что он формируется в слое  $D''$  и поднимается в мантии практически вертикально (Zhao, 2004). Структура Гавайского плюма согласуется с теоретическими расчетами.

К геохимическим признакам глубинности плюмов относится изотопия гелия. В породах океанических плюмов (например, Гавайского и Исландского) обнаруживается большая доля изотопа  $^3\text{He}$ , который является продуктом водородного термоядерного синтеза. Отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$  в этих породах в десятки раз выше, нежели в базальтах срединно-океанических хребтов, генерирующихся из верхней мантии в ходе тепловой конвекции (Толстихин, 2002). Очевидно, «избыточное» количество  $^3\text{He}$  поступает в плюмовый канал из слоя  $D''$  или из внешнего ядра.

Другими геохимическими индикаторами того, что плюмы осуществляют перенос вещества из самых глубин Земли, являются высокие концентрации металлов платиновой группы и изотопия осмия. В гавайских лавах, пикритах и коматиитах о-ва Горгона и пикритах Сибирских трапшов установлены высокие отношения  $^{186}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  и  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ , которые трактуются как смешение материала нижней мантии и внешнего ядра (от 1 до 45 %).



← Конвективные потоки

С LIP связано формирование крупных месторождений элементов платиновой группы, главным образом платины Pt и палладия Pd (ЭПГ\*). Высокие концентрации таких элементов выявлены в базальтах Норильского района и в Маймеча-Котуйской провинции, где известны и крупнейшие платиновые месторождения. В Северном Вьетнаме в связи с Эмейшанским плюмом описаны проявления коматиитового магматизма с возрастом 260 млн лет. Обычно коматииты со специфической закалочной структурой – *спинифекс* (по названию австралийской травы типа осоки) характерны для древних эпох (архейской и проторозойской) и свидетельствуют о перегретости расплавов при высокой степени плавления мантии. Изотопно-геохимические исследования этих пород показали, что для них характерны высокие содержания иридия и осмия (до 10 мг/т) и нефракционированные отношения  $^{188}\text{Os}/^{187}\text{Os}$ , что подтверждает их нижнемантийную природу. Получить высокие содержания платины и палладия при высоких степенях плавления и недифференцированную изотопию осмия невозможно без привноса глубинного вещества.

\* ЭПГ – элементы платиновой группы: Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt

Рождение и развитие мантийного плюма в направлении поверхности планеты обусловлено не столько тепловой конвекцией, сколько термохимическими реакциями во флюидной смеси, продукты которых являются более легкоплавкими, чем породы мантии. Когда голова плюма достигает тугоплавкого слоя литосферы, плюм растекается по его подошве. Над плюмовым каналом при этом начинает формироваться вторичный плюм. Растущие термические напряжения приводят к образованию трещин в коре, через которые спустя 7–12 млн лет происходит массовое извержение магмы на поверхность. Рассчитанные профили температуры демонстрируют динамику прогрева коры во времени. По: (Добрецов и др., 2008)



Функционирование мантийных плюмов приводит к формированию крупных изверженных провинций и уникальных рудных месторождений. Евразийский континент в позднем палеозое и раннем мезозое подвергался воздействию разновозрастных плюмов: Сибирского (250 млн лет), Эмейшаньского (260 млн лет), Таримского (285 млн лет) и Центральнo-Европейского (295 млн лет). Реконструкция взаимного расположения континентов в раннепермское время (280 млн лет назад). По: (Scotese, 2000)

Рудно-магматические системы, связанные с раннепермскими Сибирским (вверху) и Таримским (внизу) мантийными плюмами. Красным пунктиром показаны ареалы батолитового и щелочного магматизма, синхронного с Таримским плюмом. По: (Кузьмин, Ярмолюк, 2011)

### LIP – эти долгие 30 млн лет

Для объяснения большого объема базальтов на огромных площадях (траптов), что является характерной особенностью LIP, была разработана модель термохимического плюма с учетом рассматривания прорыва плюма через холодную литосферу. Плюм при подходе к тугоплавкому основанию литосферы не может ее проплавить и начинает растекаться вдоль основания литосферы, при этом формируется «медленный» вторичный плюм, что вызывает трещинные центры излияния щелочных базальтов.

Такая ситуация может возникать на границе не только астеносферы и литосферы, но и в основании слоя С (между нижней и верхней мантией). Последний вариант предполагается С. Маруемой для Тихоокеанского горячего поля.

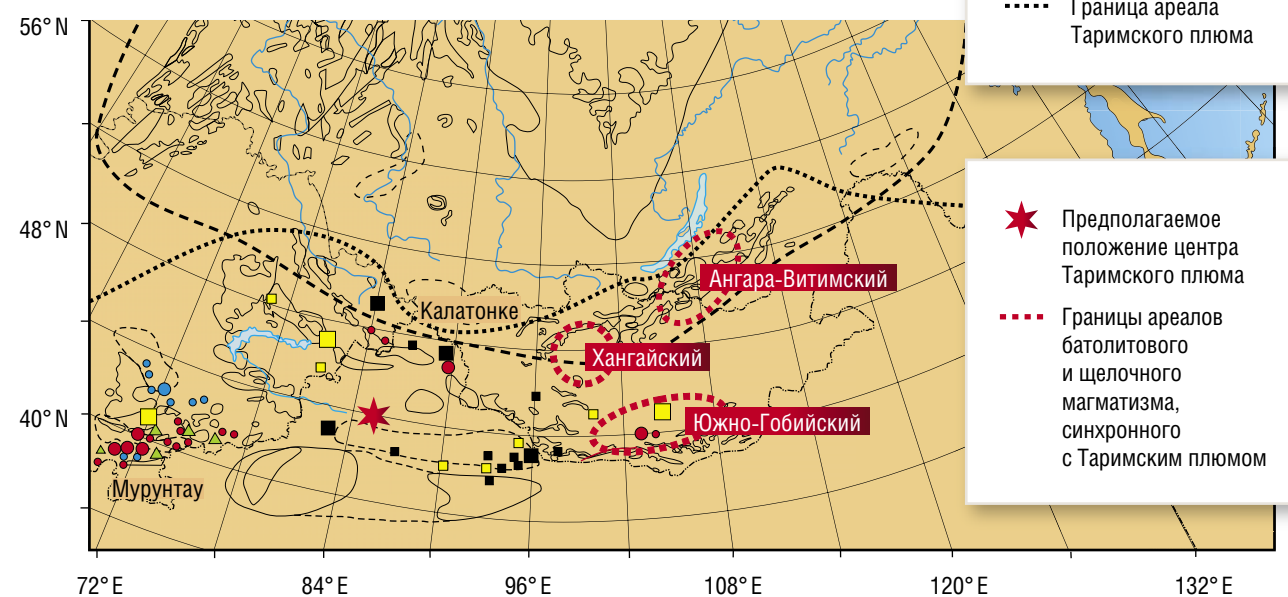
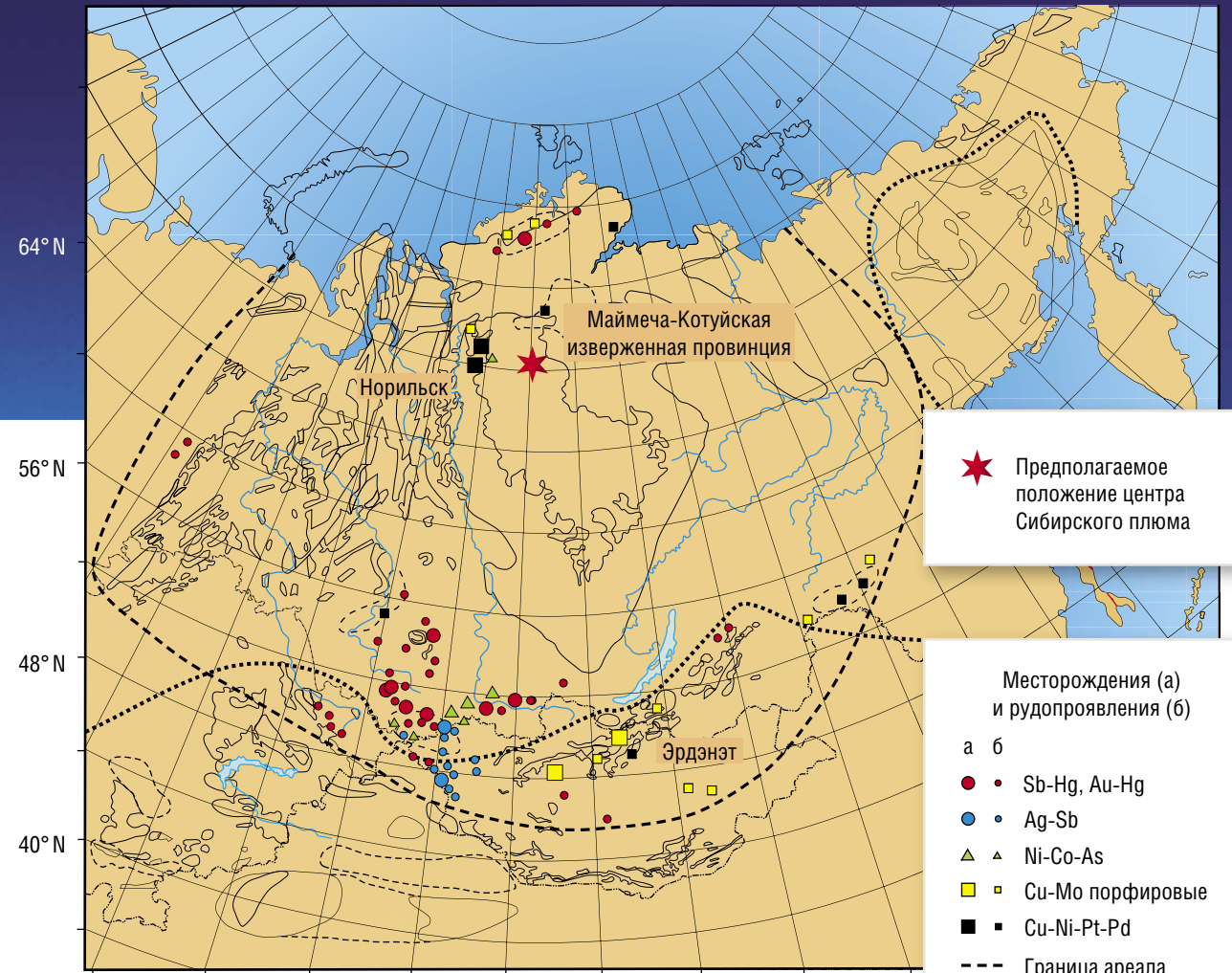
Благодаря тому, что магматические процессы начинаются в центре плюма, именно здесь достигается максимальная степень плавления с образованием высокомагнезиальных расплавов, тогда как по периферии плюма магматизм запаздывает на 10–15 млн лет, и эти области характеризуются щелочными базальтами и кислыми лавами.

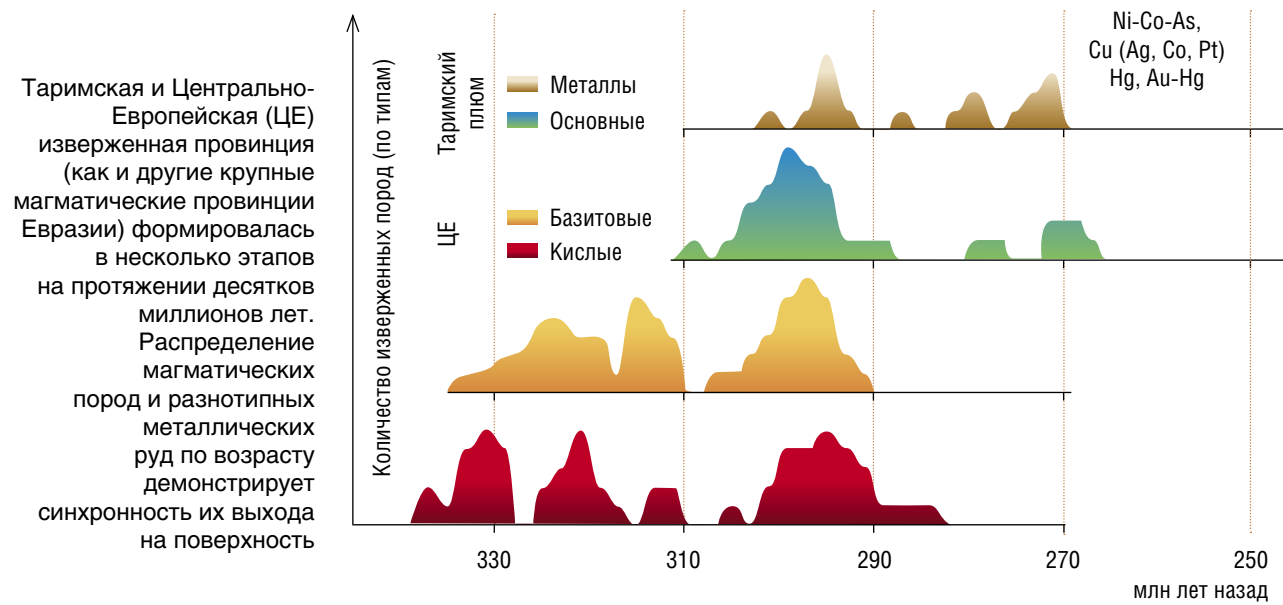
Эти особенности хорошо проявляются на примере Сибирской LIP. В центральной области Сибирского суперплюма установлены наиболее высокотемпературные пикритовые расплавы – маймечиты Маймеча-Котуй-

ской области, температура которых в мантии достигала 1650 °С, а при излиянии на поверхность 1570 °С (Соболев и др., 2009). Это на 300 °С выше температуры конвектирующей верхней мантии.

На основе теоретических разработок модели эволюции термохимического плюма и полученных в настоящее время эмпирических данных предполагается 4-этапная последовательность образования магматических ассоциаций, с которыми сопряжены разнотипные рудные формации:

- воздымание земной коры при подходе плюма из глубины к границе литосферы и формирование рифтовых систем со щелочным и карбонатитовым магматизмом;
- главный (траптовый) этап LIP – растекание плюма вдоль границы литосферы, которое сопровождается излиянием траптов и формированием структур с бимодальным магматизмом по периферии;
- прогрев коры, который сопровождается активным мантийно-коровым взаимодействием, формированием габбро-гранитных серий и гранитоидных батолитов;
- регрессивный этап остывания плюма, характеризующийся формированием гранитоидов, содержащих редкие металлы, и поясов из даек специфического (калиево-лампрофирового) состава.





На примере исследованных LIP установлено, что их продолжительность достигает 30 млн лет, а не 1 млн, как считалось ранее, при этом разные этапы разделены интервалами в 10 млн лет. Из модели также вытекает и зональность ареалов, с увеличением степени корово-мантийного взаимодействия к их периферии.

### Ядерные металлы

Главный объем рудных месторождений благородных, цветных и редких металлов формируется в двух обстановках – в зонах субдукции и в крупных изверженных провинциях, связанных с мантийными плюмами. Исключением являются только черные курильщики в срединно-океанических хребтах, в которых формируются залежи свинца и цинка. Однако гигантские месторождения (Бушвелд, Норильск, Мурунтау) тесно связаны с крупными изверженными провинциями, при этом устанавливается закономерное их размещение как в пространстве, так и во времени.

Так, в контурах LIP, связанных с Сибирским и Таримским плюмами, проявлен широкий комплекс эндогенного оруденения. При этом возникновение рудно-магматических систем и месторождений металлов от кобальта и никеля до золота и ртути во времени коррелирует с проявлениями плюмового магматизма (Pirajno, 2004; Борисенко и др., 2006; Добрецов и др., 2010).

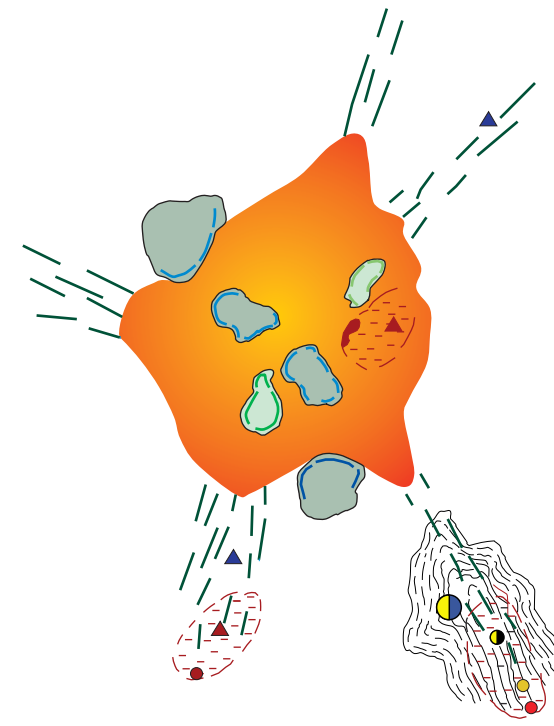
Дискретность мантийного и корового магматизма и связанного с ним оруденения согласуется с этапами, вытекающими из модели взаимодействия термохимического плюма с литосферой. Анализ возрастных и латеральных связей магматизма и оруденения конкретных LIP позволил авторам построить идеализированную схему последовательности и размещения оруденения в ареалах крупных изверженных провинций.

Наиболее тесные пространственно-временные и генетические связи плюмового магматизма выявляются для медно-никелево-платинового оруденения. Достаточно назвать уникальные норильские Cu-Ni-ЭПГ-месторождения, которые выводят Россию на второе место в мире по запасам и уровню добычи этих металлов. Их формирование отвечает траповому этапу LIP. Такой же характер локализации крупных и уникальных рудных месторождений устанавливается и в других аналогичных магматических провинциях мира: Маскоккс в Канаде, Скаергард (Au-Pd) в Гренландии и т. д. В менее эродированных областях с траповым магматизмом связаны низкотемпературные гидротермальные никель-кобальт-серебро-арсенидные месторождения и медистые песчаники.

Золото-арсенидные месторождения в периферийных областях LIP могут быть связаны с главным этапом формирования изверженной провинции. В такой геологической позиции локализованы крупные и гигантские раннепермские золоторудные месторождения Тянь-Шаня, Восточного Казахстана и Китайского Алтая, относящиеся к Таримской LIP. Однако чаще такие «периферийные» месторождения формируются на следующем этапе – при активном корово-мантийном взаимодействии.

Заключительный этап эволюции LIP характеризуется развитием магматизма пестрого состава, включающего ареалы дайковых комплексов щелочных пород и базитов, интрузии габбро-гранитного состава и редкометалльных гранитов. С ними связаны соответствующие типы низкотемпературного гидротермального оруденения: Sb-Hg, Mo-W и др.

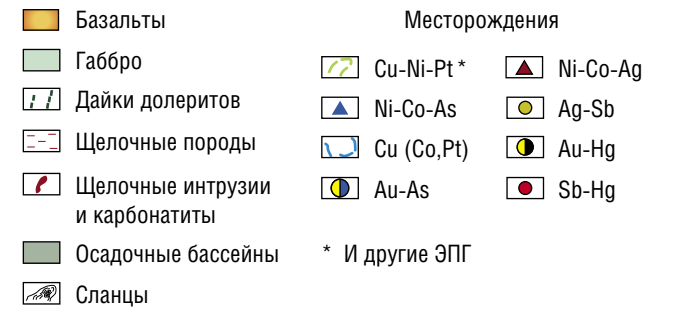
Сходная этапность развития магматических процессов и рудообразования обнаружена и в других разновозрастных крупных изверженных провинциях



Земли. Полученные данные свидетельствуют о том, что проявление всего специфического комплекса магматогенного и гидротермального оруденения является характерной чертой металлогении LIP. Это означает, что специфические типы оруденения могут использоваться в качестве металлогенических индикаторов мантийных плюмов.

Таким образом, на основе анализа магматизма и металлогении Сибирской, Таримской, Эмейшаньской, Центрально-Европейской LIP установлено, что термохимическая модель глубинного мантийного плюма хорошо объясняет не только особенности мантийного магматизма, но и специфику металлогении. Выявленные особенности локализации разных типов оруденения в ареалах LIP, его возрастные и генетические связи с определенными типами магматизма, своеобразие геологических обстановок формирования оруденения являются основой для разработки комплекса критериев прогноза и оценки перспектив выявления новых промышленных объектов в ареалах LIP.

Термохимическая модель глубинного мантийного плюма хорошо объясняет не только особенности мантийного магматизма, но и специфику металлогении. Выявленные закономерности локализации типов оруденения в ареалах крупных изверженных провинций, его возрастных и генетических связей с определенными типами магматизма могут быть основой для разработки комплекса критериев прогноза и оценки перспектив выявления новых промышленных объектов. Приведенные примеры переключаются со статьей М. И. Кузьмина и В. В. Ярмолюка, опубликованной в этом выпуске журнала, и еще раз иллюстрируют, как работает мантия Земли и ее пограничный слой с ядром.



Идеализированная схема локализации рудных месторождений в ареалах крупных магматических провинций была построена по закономерностям, найденным при анализе возрастных и пространственных связей магматизма и оруденения, вкуче с результатами моделирования взаимодействия термохимического плюма с литосферой. Общая последовательность формирования крупных рудных месторождений для всех известных ареалов такова:

1. Cu-Ni-ЭПГ + Ni-Co-As + Au-As
2. Ag-Sb
3. Au-Hg + Sb-Hg

#### Литература

Борисенко А. С. и др. Пермтриасовое оруденение Азии и его связь с проявлением плюмового магматизма // *Геол. и геофиз.* 2006. Т. 47, № 1. С. 166–182.  
 Добрецов Н. Л. Основы тектоники и геодинамики: Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2011.  
 Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г., Кирдяшкин А. А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Изд-во СО РАН; филиал «Гео», 2001. 409 с.  
 Соболев А. В. и др. Механизм образования сибирских меймечитов и природа их связи с траппами и кимберлитами // *Геология и геофизика.* 2009. Т. 50, № 12. С. 1293–1335.  
 Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии. 2003.  
 Coffin M. F., Eldholm O. Large Igneous Provinces – Crustal Structure, Dimensions, and External Consequences // *Rev. Geophys.* 1994. Vol. 32, Iss. 1. P. 1–36.  
 Pirajno F. Ore deposits and mantle plumes. Kluwer, Academic Publishers, 2004.  
 Zhao D. Global tomographic images of mantle plumes and subducting slabs: insight into deep earth dynamics // *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* 2004. Vol. 146. P. 3–34.



А. В. КОПТЮГ, Е. В. МАМОНТОВ, Ю. Г. СУХОВЕЙ

# НА ПУТИ К персонализированной медицине

## Динамическая модель развития опухоли



КОПТЮГ Андрей Валентинович – кандидат физико-математических наук, доцент Института технологий и устойчивого развития Университета Центральной Швеции (Остерзунд). Автор и соавтор более 50 научных работ и 4 патентов



МАМОНТОВ Евгений Викторович – кандидат физико-математических наук, доцент Чалмершского технологического университета (Гетеборг), директор по науке компании «Insightasy» (Швеция). Автор и соавтор более 70 научных работ и 1 патента



СУХОВЕЙ Юрий Геннадьевич – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник Тюменского научного центра СО РАН, директор Тюменского филиала ГУ НИИ Клинической иммунологии СО РАМН. Автор и соавтор более 200 научных работ и 6 патентов

*В одном из номеров нашего журнала (№4, 2011) авторы этой публикации уже познакомили наших читателей с проблемами и методами персонализации лекарственной терапии рака – одной из самых серьезных и трудноизлечимых болезней наших дней. В новой публикации исследователи представляют результаты своей успешной многолетней работы по созданию оригинальной математической модели развития опухолей. Созданная на ее основе компьютерная программа уже в недалеком будущем может стать для специалистов-онкологов незаменимым инструментом при подборе индивидуальных схем лечения конкретным пациентам*

Сегодня имеется много подходов к моделированию развития раковой опухоли – этим занимаются и биохимики, и системные биологи, и физики, и математики. И хотя в этих моделях используется большой массив знаний о деталях и механизмах онкологического процесса на клеточном и молекулярном уровнях, однако полноценной модели, адекватно описывающей это явление, до сих пор не создано.

Это и не удивительно, ведь сформировавшаяся опухоль представляет собой сложную систему, состоящую из нескольких миллионов клеток. И если, к примеру, поведение каждой из них описывать своей системой уравнений, то мощности современных компьютеров просто не хватит для проведения необходимых расчетов. Кроме того, такая модель должна учитывать влияние лекарственной терапии: специфическое действие, распространение и выведение лекарств из организма, – что достаточно непросто, а также взаимное влияние лекарств и опухоли, чего пока не делают даже самые сложные из современных моделей.

Но нельзя ли тогда использовать другой подход – «феноменологический», взяв в качестве основы что-то известное и уже проверенное на практике? И лишь потом, опираясь на реально измеримые величины, двигаться вглубь к пониманию более частных закономерностей? Оказывается, можно. А поскольку при разработке математических моделей сложных явлений всегда начинают с уже существующих более простых

**Ключевые слова:** рак, персонализированная медицина, моделирование развития опухолей, компьютерная оптимизация, хронический стресс.  
**Key words:** cancer, personalized medicine, modeling of tumor development, computer optimization, chronic stress

моделей, то в нашем случае это, как ни странно, будет математическое описание знакомого всем фазового перехода «вода–лед».

Такая аналогия далеко не случайна. Как известно, и вода, и лед достаточно стабильны при плавном изменении температуры, но в окрестностях 0 °С свойства системы резко меняются. Какое-то время в ней в относительном равновесии могут существовать сразу обе фазы, резко различающиеся по свойствам, в частности по плотности. Тем не менее этот фазовый переход обратим, а его условия определяются рядом параметров, как внешних для системы, так и внутренних.

Можем ли мы говорить о «фазовых превращениях» в системе «нормальная ткань–раковая опухоль»? Онкологи отмечают значительную стабильность раковых образований; в то же время нормальные ткани тоже достаточно стабильны – здоровый организм успешно сопротивляется всему, что пытается это состояние нарушить. Сформировавшаяся опухоль значительно отличается от окружающих ее родительских тканей, с которыми она, тем не менее, может сосуществовать значительное время. Вместе с тем при определенных условиях (например, успешном лечении) раковые опухоли могут регрессировать – «таять».

Безусловно, напрямую переносить модели типа «фазовый переход», разработанные для неживых систем, на неживые нельзя. Тем не менее попытки применять их для описания поведения живых систем в математической физике делаются давно. В том числе за последние десятилетия значительные успехи в этом направлении были достигнуты итальянскими исследователями во главе с итальянским профессором Н. Белломо, разработавшими кинетическую теорию активных частиц (Bellomo *et al.*, 2009; Bellomo, 2010).

Авторы данной статьи на основе этой теории и обобщенного математического описания фазовых переходов начали разработку математического аппарата для моделирования развития раковых опухолей (Mamontov, *et al.*, 2006). Затем был сделан следующий шаг: за четыре года удалось уверенно связать формальные параметры, используемые в модели, с величинами, реально измеримыми на практике.

## На пяти постулатах

Модель, описывающая динамику поведения плотных раковых опухолей, базируется на небольшом числе постулатов.

- Раковая опухоль возникает в результате сбоя механизмов регулирования. Если механизм, поддерживающий баланс между числом умирающих и рождающихся клеток нарушается, то клетки могут начать бесконтрольно делиться. Если контроль утрачен полностью, то возникает раковая опухоль, с которой организм сам

может и не справиться. Если же ему «помочь» лечением, то контроль может восстановиться и раковая опухоль исчезнет.

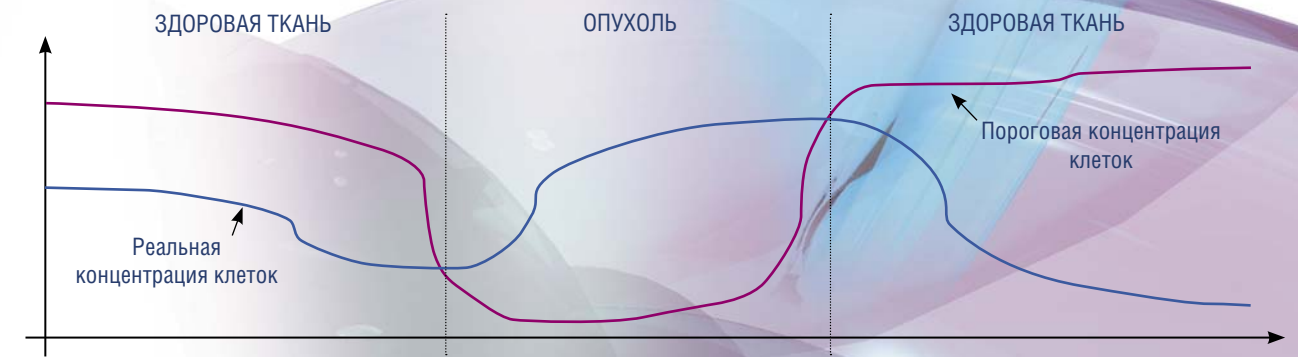
- Плотная раковая опухоль образуется из так называемого воспалительного инфильтрата, т. е. плотного воспалительного «желвака». Вообще сам воспалительный процесс является частью регуляторных и защитных механизмов, и только перейдя определенный предел, воспаление может становиться опасным, чему имеются экспериментальные подтверждения. Интересно, что в русском языке онкологическое образование так и называется – «опухоль».

- Динамику воспалительного процесса можно качественно описать, следя за изменением *концентрации клеток* – числа клеток в единице объема ткани. Для формулирования нужных уравнений можно воспользоваться следующими утверждениями. Во-первых, оба состояния ткани – «нормальное» и «раковая опухоль» – являются «устойчивыми» (асимптотически стабильными). Во-вторых, контроль над делением и запрограммированной смертью клеток осуществляется биохимическим путем – «доставкой» к клеткам определенных сигнальных молекул. (Это утверждение не совсем корректно в отношении опухолей с развитой системой кровеносных сосудов). В-третьих, каждая клетка ткани выбирает один из двух путей развития – «нормальный» или «бесконтрольное деление» (математически речь идет о вероятности).

- Для каждой точки нашего организма в каждый конкретный момент времени существует некоторая «критическая» концентрация клеток, выше которой регуляторные системы человеческого организма просто не способны поддерживать баланс между делением клеток и их гибелью. Если не изменить концентрацию клеток (например, уничтожив часть из них, используя тот или иной метод терапии) или не сдвинуть саму точку критического порога, то деление пойдет бесконтрольно и образуется раковая опухоль.

- Концентрация лекарства в тканях и ее изменение в пространстве и времени неразрывно связаны с развитием опухолей в пространстве и времени. Хорошая (адекватная) модель обязана учитывать это обстоятельство, чего не делают в силу своего происхождения фармакокинетические и фармакодинамические модели.

Надо сказать, что все эти постулаты достаточно серьезно обоснованы: на сегодняшний день авторам не удалось обнаружить ни одного экспериментально подтвержденного факта, вступающего с ними в противоречие. Конечно, не следует забывать, что любая модель ограничена и является лишь приближенным описанием действительности. Например, как выше отмечалось, эта модель мало применима к описанию роста опухолей на поздних стадиях развития, когда они густо пронизаны кровеносными сосудами.



## Когда потерян контроль

Теперь уже в рамках такого подхода можно качественно описать появление и развитие раковой опухоли.

В наших тканях клетки вовсе не находятся «в свободном плавании». Они как строительными лесами окружены коллагеновым «каркасом» и межклеточной жидкостью, занимающей свободный объем. Вся жизнь клетки контролируется извне путем поступления к ней определенных химических веществ. Эти молекулы распространяются в межклеточной жидкости довольно медленно – примерно так, как диффундирует в стакане воды капля чернил. Например, даже введенное внутривенно лекарство разносится кровотоком только по сосудам, а потом его распространение в основном также контролируется диффузией.

Если концентрация клеток в ткани не слишком велика, то межклеточная жидкость эффективно доставляет химические вещества (в том числе и сигнальные молекулы) ко всем клеткам. При этом эффективно работает и механизм, обеспечивающий равновесие между делением клеток и их запрограммированной гибелью. Если же из-за воспалительного процесса или из-за временного сбоя механизма регуляции концентрация клеток в каком-то месте вырастает, то объем, занимаемый межклеточной жидкостью, уменьшается. Соответственно, механизм поддержания клеточного «баланса» должен увеличить число поступающих в межклеточную жидкость «сигнальных» молекул, чтобы необходимое их количество достигло адресатов.

Однако у любого механизма существует предел, который в нашем случае может быть обусловлен, например, производительностью «биохимической фабрики». К тому же регулирование – процесс не мгновенный, он определяется скоростью диффузии. Поэтому при достижении некоторой концентрации клеток механизм восстановления баланса перестает справляться с ситуацией: число поступающих к клеткам сигнальных молекул становится недостаточным, чтобы предотвратить их

Механизм, обеспечивающий равновесие между делением клеток и их запрограммированной гибелью в тканях организма, работает эффективно только при определенной концентрации клеток. Если в какой-либо точке произойдет сбой работы этого механизма (например, концентрация клеток станет выше упавшей критической из-за ослабления общего иммунитета, действия сильного стресса, ядов или канцерогенных веществ), это может запустить процесс неконтролируемого деления клеток. По: (Mamontov *et al.*, 2006)

неконтролируемое деление. В результате концентрация клеток в данной области еще более увеличивается. В дальнейшем этот неконтролируемый процесс может прийти к другому стабильному состоянию – к плотной раковой опухоли.

В уже сформировавшейся области «потери контроля баланса» концентрация клеток распределена неравномерно: на периферии она ниже, чем в центре, где клетки дольше делились без контроля. Но поскольку контроль над ситуацией уже полностью потерян, концентрация клеток продолжает расти везде, сдвигая границы зоны «потери контроля» все дальше и дальше. Опухоль начинает увеличивать свои размеры и одновременно становится все более плотной в центре.

Если же теперь внутривенно ввести лекарственный препарат, то проникнуть в центр опухоли ему будет достаточно сложно: лекарство будет работать только на периферии, там, где доставка пока еще эффективна. При этом регулирование на периферии может восстановиться, и там начнется постепенное уменьшение концентрации клеток. Улучшится и доставка химических веществ к более плотным внутренним частям опухоли. Если концентрация клеток в ткани будет оставаться ниже пороговой, этот процесс при продолжении правильного лечения будет продолжаться вплоть до полного исчезновения опухоли.

## В одном уравнении

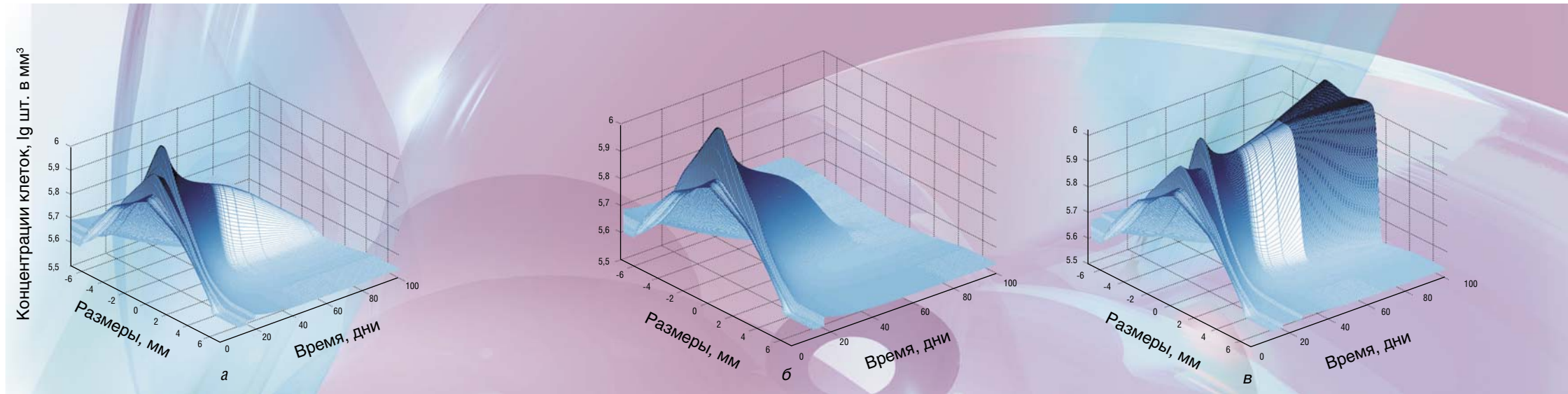
Исходной задачей авторы поставили создание «минималистической» модели, которая учитывала бы только абсолютно необходимые для описания явления связи и параметры и при этом позволяла бы качественно и количественно предсказывать динамику развития опухолей, в том числе и при использовании лекарств.

В результате «тотальной минимизации» все удалось свести к одному (!) нелинейному дифференциальному диффузионно-кинетическому уравнению, куда входят всего шесть параметров: критическая концентрация клеток (величина порога «срыва» регулирования), «предпочтительная» концентрация клеток (т.е. концентрация, которую стремится поддерживать механизм регулирования), коэффициент диффузии, время жизни клетки, «скорость» смерти клеток, а также параметр, связанный с суммарной продолжительностью стадий клеточного цикла. Подобного рода уравнения достаточно легко просчитываются на современных, даже не самых мощных компьютерах.

Созданная на основе этой модели программа *PhasTraM* (от *Maintenance of the cell concentrations via Phase Transitions* или «поддержка клеточных концентраций с позиций теории фазовых переходов») даст возможность практикующим медикам подбирать режим терапии для конкретного больного, опираясь на результаты биохимических анализов. Программа может выдавать прогноз результатов лечения с учетом применения выбранного лекарства по заданной схеме. Если же прогноз окажется неудовлетворительным, то подбор лечения можно продолжить.

Безусловно, заменить человека подобная программа никогда не сможет – решение о назначении способа лечения всегда остается за специалистом, но она позволяет быстро перебрать большое число допустимых вариантов или предложить оптимальный режим терапии. Поскольку перебор вариантов производится на «виртуальном» пациенте, для реального человека риск отсутствует.

Нужно отметить, что в рамках данной модели для «раскрутки спирали» бесконтрольного деления клеток необязательно наличие их повышенной концентрации. Для этого достаточно в какой-то точке пространства сбиться механизму регулирования (говоря языком модели, достаточно критической концентрации по какой-то причине упасть ниже концентрации клеток в данной точке пространства). И тогда картина срыва регулирования, описанная выше, будет непременно реализована. Подобное может произойти, например, из-за ослабления общего иммунитета, сильного хронического стресса, попадания в организм ядов или канцерогенных химических веществ.



Более того: данная модель допускает возможность «излечения без медикаментов», например, за счет улучшения собственного иммунитета или даже эмоционального состояния в противоположность стрессу. Все, что помогает существующей системе регулирования в восстановлении баланса, может снова вывести систему на траекторию к основному устойчивому состоянию – здоровой ткани. Правда, ожидать этого для любой опухоли вряд ли стоит, но меры по улучшению иммунитета и душевного состояния больного обязательно будут способствовать успеху правильного терапевтического лечения.

## Как она работает

Параметры, которые пользователь должен ввести в программу, разбиты на две основные группы – индивидуальные данные о пациенте и самой опухоли; данные о лекарстве и режиме его использования; а также данные, определяющие режим моделирования.

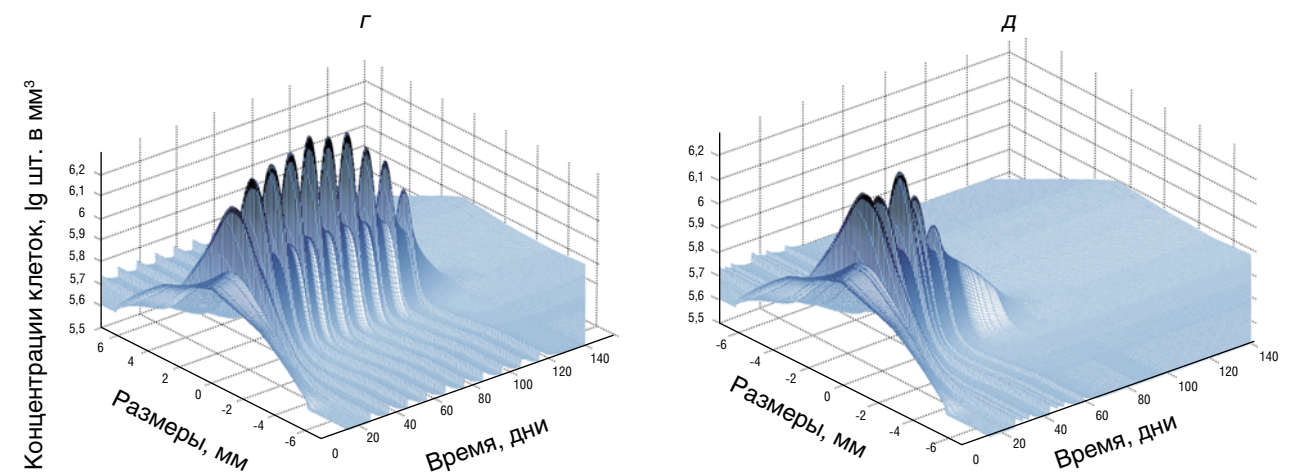
В первую группу входят результаты анализа ткани, полученной при помощи не совсем обычной биопсии с множественными пробами. Нужны несколько образцов из здоровой ткани, окружающей опухоль, а также из самой опухоли, причем необходимо точно знать расстояния между точками отбора проб.

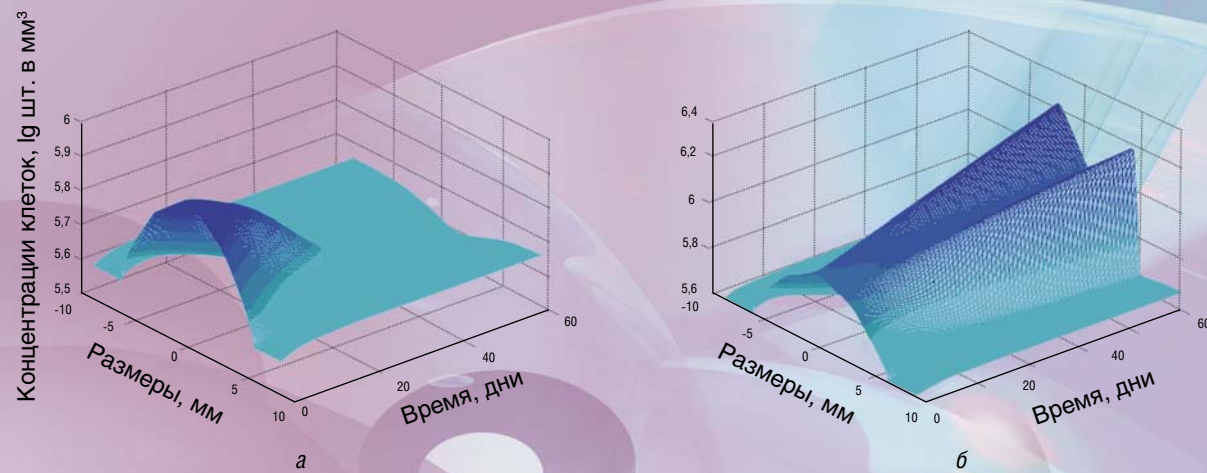
Хотя такая биопсия сложнее обычной, она дает очень низкий процент осложнений, даже в случае такого «деликатного» органа, как печень. Сразу оговоримся, что на данном этапе модель рассматривает только сферически симметричные опухоли. Это ограничение связано с тем, что в ином случае потребовалась бы биопсия по трем,

желательно ортогональным, осям. Это бы осложнило и удорожило подготовку исходных данных, а главное, значительно увеличило риск возможных осложнений для пациента.

Для каждой из проб должны быть определены средние показатели длительности фаз клеточного цикла, объема клеток, доли объема, занятого коллагеновой матрицей и динамической вязкости ткани. Хотя эти параметры сегодня не измеряются при стандартной биопсии, методы их измерения известны и вполне доступны. Проблема имеется лишь с использованием понятия «вязкость» применительно к живым тканям, в частности потому, что вязкость ткани нельзя измерить стандартными жидкостными вискозиметрами. Ее удалось обойти, заменив параметр вязкости коэффициентом диффузии (правда, в этом случае вязкость

Программа *PhasTraM* позволяет подобрать наиболее эффективный режим противораковой лекарственной терапии. Например, можно оценить результаты различных вариантов лечения опухоли дробными дозами радиоактивного йода-31 с суммарной дозой в 180 МВк (вверху). Судя по результатам моделирования, лечение будет успешным в случае однократного введения всей дозы (а) и при введении двух половинных доз с интервалом 2 дня (б); при интервале между инъекциями 7 дней опухоль будет продолжать расти (в). Внизу – прогноз развития той же опухоли при лечении радиоактивным иттрием-90 дробными дозами по 515 МВк, вводимыми с интервалом 10 дней (г), и режим с меньшей суммарной дозой облучения, предложенный программой по результатам оптимизации прогноза лечения (д)





Результаты моделирования динамики имеющейся в ткани опухоли при разных концентрациях маркера хронического стресса интрелейкина-6 – при «нормальной» (10 пг/мл; а) и при «повышенной» (25 пг/мл; б) – показывают, что при невысоких уровнях IL-6 в тканях собственные регуляторные системы организма справляются с уничтожением злокачественного образования. В ином случае происходит быстрый рост опухоли вплоть до появления в ее центре очага некроза, где концентрация клеток начинает падать

### ОНКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ И СТРЕСС

Известно, что хронический стресс может увеличивать риск появления раковых опухолей, а также ускорять развитие существующих (Basso et al., 1992). Тем не менее влияние хронического стресса на наше здоровье, в том числе на клеточном уровне, до сих пор сильно недооценивается.

Одним из известных «биомаркеров» хронического стресса является интерлейкин-6 (IL-6) – небольшие белковые молекулы, непосредственно участвующие в иммунном отклике. Экспериментально показано, что концентрация этих молекул в тканях при хроническом стрессе возрастает. При гистопатологических исследованиях раковых опухолей в них также часто отмечают значительно повышенные концентрации IL-6.

В настоящее время считается, что так называемые «гиперпластические полипы», являющиеся одной из стадий развития раковых опухолей, возникают при сочетании наличия воспалительного процесса и высоких концентраций IL-6, которые могут быть вызваны, в том числе, и хроническим стрессом. Более того, наличие повышенных концентраций молекул IL-6 в тканях само по себе является индикатором нарушения правильного функционирования одной или нескольких аутокринных регуляторных цепей.

При моделировании динамики развития уже имеющейся опухоли при нормальной и повышенной концентрациях IL-6 в тканях обнаружилось, что в первом случае собственные регуляторные системы организма вполне справляются с ее уничтожением, тогда как при высоких уровнях IL-6 происходит быстрый рост опухоли. Таким образом, в рамках модели получено подтверждение влияния хронического стресса на развитие раковой опухоли

становится не прямо измеряемым, а вычисленным параметром). Зато с помощью магниторезонансной томографии сегодня можно неинвазивно получить «карты» распределения коэффициента диффузии молекул воды в тканях с очень высоким пространственным разрешением (Schepkina et al., 2006).

Во вторую группу данных, если использовать в качестве примера внутривенные препараты, входят: название препарата из встроенной библиотеки программы, его доза, количество и длительность инъекций. Аналогичный список можно привести для других форм применения препаратов, например таблеток или инъекций, однако точность моделирования при оральном приеме лекарств падает.

Таким образом, для каждого лекарства в программе должен существовать особый «модуль», где детально описано его действие. Оказалось, что для моделирования в целях персонализации терапии лекарства нужно выбирать по фирменному названию, а не по действующему веществу, так как очень часто оно является далеко не единственным составляющим. Еще одна проблема – существование множества так называемых дженериков, непатентованных аналогов оригинального препарата, предполагающих лишь наличие статистически обоснованной схожести действия (Le Corre, 2010).

Уже сегодня программа может выдавать прогноз успеха терапии с использованием цитотоксических (разрушающих клетки) препаратов, таких как радионуклиды и различные препараты химиотерапии. Сравнительно недавно в программу включена возможность работы с нецитотоксическими препаратами (на основе моноклональных антител, а также ингибиторами фермента тирозин-киназы), а также с «сигнальными» веществами, например интерлейкином-6. В рамках подхода имеется также возможность персонализации лучевой и фотодинамической терапии, однако они пока не реализованы.

Итак, исходные данные в программу загружены. Сама работа программы занимает около одной минуты даже при использовании сравнительно маломощных ноутбуков. Вывод данных осуществляется в виде, выбранном пользователем, и представляет собой ряд различных графиков и поверхностей, иллюстрирующих динамику развития опухоли при выбранной терапии.

В качестве примера приведем подбор режимов лечения радионуклидными препаратами. В последние годы такие препараты часто вводят дробными дозами, чтобы уменьшить вероятность осложнений, однако вариантов терапии даже при двух дробных дозах существует множество. Если же требуются более мелкие дозы (например, для обеспечения более щадящего режима лечения), то, соответственно, многократно увеличивается и возможное количество вариантов.

Программа позволяет варьировать как дозу каждой инъекции, так и время между инъекциями. Не имея возможности быстро оценивать, какие варианты будут более эффективными, практикующие врачи обычно выбирают одинаковые дозы и одинаковое время между введением этих доз. Однако при наличии прогнозирующей модели перебор вариантов и оптимизацию схемы лечения можно «поручить» компьютеру. То есть моделирование позволяет минимизировать как общую дозу цитотоксического препарата, так и время лечения.

В результате многолетней работы удалось создать модель, адекватно описывающую динамику развития опухоли. Качественно модель хорошо согласуется со всеми известными экспериментальными данными. Количественная проверка модели была проведена на основе материалов из архивов Шальгрэнского исследовательского госпиталя (Гетеборг, Швеция) и результатов собственных экспериментов авторов. С помощью сотрудников Тюменского отделения РАН сейчас проводятся новые эксперименты на лабораторных животных с целью проверки основных постулатов модели без использования статистических методов усреднения.

Использование небольшого числа входных параметров предопределило пригодность модели для практического использования – научная разработка «превратилась» в пакет программ для индивидуальной терапии онкологических больных. Сегодня продолжается работа по включению в программу новых модулей для различных лекарств, созданию версий для различных операционных систем, а также упрощенной версии, пригодной для обучения.

Одна из будущих версий программы предназначена для разработчиков новых противораковых препаратов, которые смогут оценивать их эффективность на «виртуальных пациентах». И конечно, ее создатели надеются, что уже в самом ближайшем будущем они смогут предложить рабочий вариант программы практикующим врачам-онкологам.

#### Литература

- Basso A. M., Depiante-Depaoli M., and Molina V. A. Chronic variable stress facilitates tumoral growth: reversal by imipramine administration // *Life Sciences*. 1992. Vol. 50. P. 1789–1796.
- Corre P. Le. Bio-équivalence et génériques de principes actifs à marge thérapeutique étroite (Narrow therapeutic index drugs: bioequivalence and generics) // *Presse Medicale*. Feb 2010. Vol. 39, No. 2. P. 169-176.
- Koptioug A., Mamontov E., Myrberg T., Sukhovey Yu. Software for pretherapeutic design of tumor/patient-individual tumor-eradicating drug regimens // *Communications in Applied and Industrial Mathematics*. 2012 (в печати).
- Mamontov E., Koptioug A., and Psiuk-Maksymowicz K. The minimal, phase-transition model for the cell-number maintenance by the hyperplasia-extended homeorhesis // *Acta Biotheoretica*. 2006. Vol. 54. P. 61–101.
- Schepkina V. D., Chenevert T. L., Kuszpit K., Lee K. C. et al. Sodium and proton diffusion MRI as biomarkers for early therapeutic response in subcutaneous tumors // *Magnetic Resonance Imaging*. 2006. Vol. 24. P. 273–278.

# АНТИТЕЛА

## ПРОТИВ КАНЦЕРОГЕНОВ

А. Н. ГЛУШКОВ



Создать универсальную прививку от рака – болезни коварной и многоликой – принципиально невозможно. Здоровый образ жизни и хорошие экологические условия – вот все, чем мы располагаем в этом смысле. Однако впечатляющие успехи вакцинопрофилактики инфекционных заболеваний породили надежду, что можно создать вакцины против химических канцерогенов – веществ, провоцирующих появление злокачественных новообразований. В первую очередь такими канцерогенами являются продукты сжигания органического топлива в промышленных выбросах

В большинстве развитых стран мира, в том числе и в России, онкологические заболевания занимают второе место среди причин смерти после сердечно-сосудистых. Однако если атеросклероз и гипертония лечатся годами и десятилетиями, рак страшен своей скоротечностью: каждый третий больной погибает в течение года с момента постановки диагноза.

Основные усилия ученых в борьбе со злокачественными опухолями сосредоточены на совершенствовании старых и разработке новых методов лечения, при этом базовый тезис медицины – болезнь легче предупредить, чем вылечить, – так и остается только тезисом. Фармакологических средств профилактики рака, сопоставимых по эффективности со средствами профилактики инфекционных заболеваний, на сегодняшний день не существует. Причина, в первую очередь, заключается в мультифакторной природе злокачественных новообразований, что подразумевает существование множества возможных причин и разнообразия механизмов возникновения опухолей. Это обуславливает почти непреодолимые трудности в решении проблемы профилактики рака в каждом конкретном случае.

Но хотя универсальных средств предупреждения рака нет и быть не может, создание препаратов, воздействующих на отдельные факторы и звенья патогенеза онкологических заболеваний, представляется вполне возможным.

Угледобывающие и углеперерабатывающие предприятия Кемеровской области служат источником огромных объемов промышленных выбросов и стоков, представляющих большую канцерогенную опасность.

Слева – м. н. с. лаборатории иммунохимии ИЭЧ СО РАН (Кемерово) К. С. Красильникова проводит иммуноанализ антител к бензопирену – одному из самых распространенных химических канцерогенов

**Ключевые слова:** онкологические заболевания, промышленные канцерогены, иммунитет, антиканцерогенные вакцины.

**Key words:** cancer diseases, industrial carcinogenes, immunity, anticarcinogenes vaccines



ГЛУШКОВ Андрей Николаевич – доктор медицинских наук, профессор, директор Института экологии человека СО РАН (Кемерово). Автор и соавтор 175 научных публикаций

### Кузбасс промышленный

По мнению экспертов Международного агентства по изучению рака (МАИР), основной причиной этой болезни служат факторы окружающей среды химической природы. Речь идет о *канцерогенах* – веществах, воздействие которых достоверно увеличивает частоту возникновения и/или ускоряет рост злокачественных опухолей в популяции человека или животных. Наиболее распространенные канцерогены в промышленно развитых странах – это продукты сжигания органического топлива.

Согласно спискам МАИР и Санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам РФ, в угле содержится и/или образуются при сжигании и переработке целый ряд канцерогенных веществ: бензопирен и бензантрацен, каменноугольные смолы, бериллий, кадмий, мышьяк, никель и их соединения; диоксин, радон и т. д. Поэтому канцерогенная опасность для человека таких промышленных процессов, как производство кокса, переработка каменноугольных смол, газификация угля, производство чугуна, стали и алюминия, безусловно, доказана.

Кузбасс – основной угледобывающий регион России, обеспечивающий 56 % угледобычи, 19 % проката и 15 % стали страны, – занимает всего 2% площади РФ. Экологические последствия такой высокой концентрации тяжелой промышленности печально известны: ежегодные промышленные выбросы в атмосферу за последние 25 лет составили около 2 млн т, а сбросы загрязняющих веществ в водные источники – до 1,3 млн т! Таким образом, на каждого жителя Кемеровской

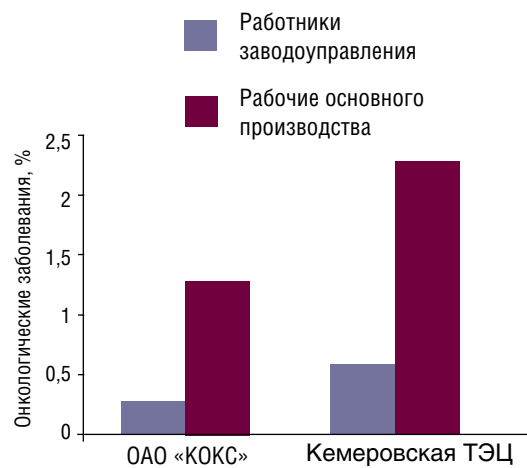


Показатели заболеваемости раком легкого (слева) и раком желудка в Кемеровской области прямо связаны\* с объемом ежегодных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов в водные источники

\* Использован девятилетний латентный период между воздействием выбросов и клиническим проявлением болезни

области «приходится» от 0,5 до 1,2 т загрязняющих веществ, не считая огромного количества промышленных отходов, накопленных в многочисленных отвалах.

Исследования сотрудников Института экологии человека (ИЭЧ) СО РАН показали, что заболеваемость раком легкого и раком желудка в Кемеровской области прямо связана с объемом ежегодных загрязняющих выбросов в атмосферу и водные источники (аналогичная закономерность характерна и для Донецкой области Украины). Как свидетельствуют статистические данные, чтобы за год заболеваемость раком легкого не превышала 40 случаев, а раком желудка – 26 случаев на 100 тыс. чел., объем промышленного загрязнения атмосферы и водных источников должен составлять не более 1,2 и 0,5 млн т соответственно.



Уровень заболеваемости раком у работников промышленных предприятий Кемеровской области во многом определяется условиями их труда

Было также обнаружено, что у рабочих основных профессий углереперерабатывающих предприятий ОАО «Кокс» и Кемеровская ТЭЦ злокачественные опухоли появляются значительно чаще, чем у работников вспомогательных подразделений. При этом у этих рабочих отмечено и достоверно большая частота встречаемости хромосомных мутаций (перестроек), чем у работников, не занятых непосредственно в производстве (Оценка и прогноз канцерогенной опасности, 2010).

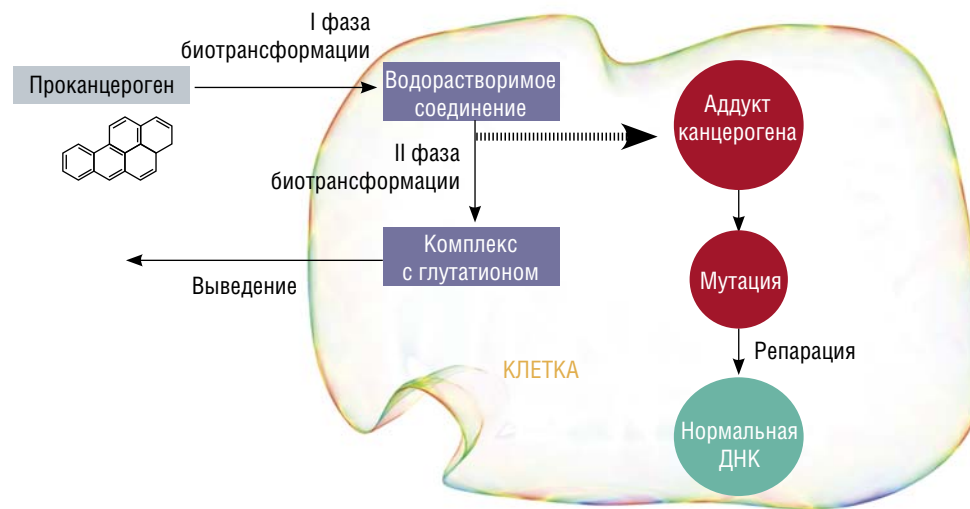
### Защитная биотрансформация

Полициклические ароматические углеводороды – наиболее распространенные и изученные химические канцерогены – часто называют *проканцерогенами*, так как они, будучи химически инертными, не способны взаимодействовать с ДНК и непосредственно вызывать злокачественное перерождение клеток. Однако благодаря своей гидрофобности они могут вызывать нарушения структуры и функций липидных мембран важнейших внутриклеточных образований.

Поэтому в клетках многих тканей организма эти углеводороды подвергаются процессу *биотрансформации*. Сначала они превращаются в водорастворимые соединения, которые, благодаря появлению в их структуре химически активных группировок, приобретают способность ковалентно связываться с другими биомолекулами. Соединяясь с ДНК и белками, эти метаболиты образуют так называемые *аддукты канцерогенов*. При делении клетки на участке ДНК, где образовался такой комплекс, может происходить неправильное считывание генетической информации – возникает *мутация*.

Этому процессу препятствуют ферменты II фазы биотрансформации, которые присоединяют пептид глутатион к водорастворимым метаболитам канцерогенов. В виде таких конъюгатов канцерогены в конечном

Благодаря процессу биотрансформации клетка обезвреживает и выводит проканцерогены – низкомолекулярные соединения, индуцирующие возникновение опухолей. В случае возникновения мутации – нарушения в структуре ДНК в действие вступают ферменты репарации



счете и выводятся из клетки и из организма. Физиологическим механизмом, восстанавливающим нормальную последовательность нуклеотидных оснований в ДНК в случае возникновения мутации, является ее *репарация* (восстановление) с помощью специальных ферментов. Однако при низкой активности этих ферментов мутации накапливаются при каждом клеточном делении, и в конечном итоге нормальная клетка может трансформироваться в злокачественную.

Следует отметить, что гены, кодирующие ферменты биотрансформации и репарации, характеризуются значительной изменчивостью (*полиморфизмом*). Одни варианты обеспечивают синтез активных форм ферментов, другие же – мало активных, а в некоторых случаях активность утрачивается полностью. Очевидно, что мутации в ДНК могут сохраняться и закрепляться только в том случае, если высокая активность ферментов I фазы сочетается с низкой активностью ферментов II фазы биотрансформации и репарации.

К счастью, такие «роковые» сочетания встречаются не часто, поскольку каждая из этих трех групп ферментов кодируется большим числом генов, а каждый ген может иметь несколько вариантов. Об этом свидетельствует и относительно небольшая частота онкологических заболеваний в популяциях человека.

### Иммунный ответ – есть!

Широко распространено мнение, что одной из причин онкологических заболеваний является угнетение иммунитета, которое может возникать и под действием химических канцерогенов. Однако это представление не совсем верно: химические канцерогены, будучи низкомолекулярными соединениями, сами по себе вообще не способны вызвать *специфический иммунный ответ* (синтез антител) – это могут только такие макромолекулы, как белки, пептиды и т. д.

Между тем антитела к химическим канцерогенам обнаружены в сыворотке крови как у здоровых людей, так и у больных раком, причем у последних чаще и в больших количествах. Закономерно возникают вопросы: каким образом химические канцерогены вызывают специфический иммунный ответ? И какую роль играют эти антитела в самом канцерогенезе?

Большинство исследователей считают, что в данном случае *антигеном*, вызывающим иммунный ответ, являются те самые аддукты – комплексы химических канцерогенов с биомолекулами. Существует и концепция иммунохимического гомеостаза, согласно которой образующиеся в организме специфические антитела связывают эти канцерогены, что приводит к снижению активности процесса биотрансформации (Ковалев, Шипулина, 1992).

Однако на основании модельных экспериментов было показано, что такую защитную роль играют только те антитела, которые проникают из крови в просвет полых органов (bronхов и желудочно-кишечного тракта). В самой крови они, напротив, создают дополнительный градиент для канцерогенов, усиливая их транспорт из окружающей среды через эпителий и тем самым стимулируя канцерогенез (Silbart *et al.*, 1997; De Buck *et al.*, 2005). Единственный эксперимент на целостном организме мышей показал, что под воздействием бензопирена опухоли возникают раньше у особей с высоким уровнем специфических сывороточных антител (Curtiset *et al.*, 1978).

Специалисты из ИЭЧ СО РАН задались вопросом о взаимосвязи между образованием специфических антител и работой системы биотрансформации химических канцерогенов у человека. Эти исследования были необходимы для разработки нового направления иммунопрофилактики рака – *антиканцерогенных вакцин*.

## Палка о двух концах

Исследования кемеровских ученых показали, что у больных раком легкого значительно чаще, чем у здоровых, наблюдаются повышенные уровни антител к канцерогену бензопирену, а также к эстрадиолу – стероидному гормону, вырабатываемому в организме. При этом вероятность возникновения опухоли зависела от соотношения этих двух показателей. Хотя биологический смысл этого явления пока не ясен, однако уже сейчас для определения индивидуального риска возникновения рака легкого можно рекомендовать проведение одновременного анализа на антитела к канцерогену и эстрадиолу.

При изучении генетического полиморфизма ферментов биотрансформации низкомолекулярных соединений была обнаружена еще одна закономерность. В группе больных раком легкого отмечена взаимосвязь между уровнем защитных антител и полиморфизмом гена GSTT1, кодирующим фермент II фазы биотрансформации. Мутация этого гена приводит к полной потере ферментом способности присоединять активные формы химических канцерогенов к глутатиону.

Распространено мнение, что неактивная форма этого гена ассоциирована с высоким риском онкологических заболеваний. Однако в данном случае оказалось, что уровень антител к бензопирену был выше у больных с функционально активным геном GSTT1. Это свидетельствует о том, что синтез антител индуцируется продуктами не столько I фазы биотрансформации, как предполагалось ранее, сколько II фазы.

По-видимому, сывороточные антитела, образуя комплексы с белковыми конъюгатами канцерогенов, препятствуют их проникновению из кровяного русла в органы и ткани. Такие циркулирующие комплексы поглощаются печенью, где они и инактивируются. Это означает, что образование антител против низкомолекулярных соединений является особым звеном иммунологической адаптации человека к факторам, потенциально опасным для клеточной ДНК.

Однако в определенных условиях антитела против канцерогенов способны усиливать генотоксическое действие последних, провоцируя канцерогенез, что и было доказано в исследовании хромосомных нарушений в лимфоцитах периферической крови, проведенном на здоровых мужчинах с известными уровнями антител к бензопирену (Глушков и др. 2011).

## Антитело вместо антигена

Совершенствование иммуноанализа и появление адекватных моделей химического канцерогенеза породили в последние годы надежды на создание вакцин против химических канцерогенов, которые можно

использовать для иммунопрофилактики рака. Нужно отметить, что первые попытки такого рода были сделаны на мышах еще в первой половине прошлого века (Frank and Creech, 1939). Основная трудность в создании антиканцерогенных вакцин заключается в выборе подходящего антигена. В случае инфекционной болезни в этом качестве часто используют инактивированный возбудитель, безопасный для человека. Но инактивировать химический канцероген невозможно по определению: значительно изменив структуру молекулы, мы получаем другое соединение, которое уже не может служить антигеном; в ином случае канцероген сохраняет свои мутагенные свойства.

Так, американские исследователи успешно использовали для иммунизации животных полициклический углеводород фторметилбензантрацен (Moolten *et al.*, 1981). Но хотя наличие фтора ослабляет канцерогенные свойства исходного соединения, применять подобные препараты в медицинской практике нельзя – всегда остается вероятность возникновения опухоли.

Эту проблему удалось решить с помощью так называемых *анти-идиотипических антител*, которые получают путем «двойной иммунизации» (Chagnaud *et al.*, 1993). Сначала конъюгатом бензопирена с альбумином были иммунизированы кролики, а полученными от них «первыми» антителами – лабораторные мыши. С помощью гибридной технологии\* от мышей были получены «вторые» моноклональные антитела, которые использовались уже для иммунизации лабораторных крыс. Удивительно, но хотя в составе этих антител полностью отсутствовал первичный канцероген, они, тем не менее, действовали подобно антиканцерогенной вакцине, тормозя появление опухолей при воздействии бензопирена. Так было показано, что защитный иммунный ответ против канцерогена можно получить с помощью безопасных белковых препаратов, имитирующих антигенные свойства канцерогена.

В настоящее время имеются более совершенные методы получения подобных вакцин. Так, в ИЭЧ с этой целью была использована технология так называемого *фагового дисплея*, а сама методика была защищена двумя патентами РФ.

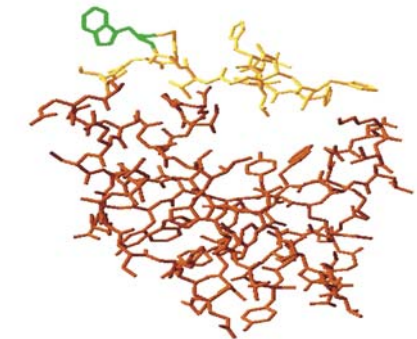
На первом этапе кемеровские исследователи синтезировали конъюгат бензопирена с белком (бычьим сывороточным альбумином). Затем с помощью гибридной технологии из селезенки мышей, иммунизированных конъюгатом, был выделен клон лимфоцитов – клеток, продуцирующих антитела против бензопирена. Оказа-

\* Гибридомы – клетки, полученные в результате слияния лимфоцитов и опухолевых клеток, – способны к синтезу специфических антител, а также к неограниченному росту в клеточной культуре



Этот пептид, входящий в состав оболочки некоторых клонов бактериофагов – бактериальных вирусов, способен вызывать специфичный иммунный ответ на канцероген бензопирен.

Слева – аспирант лаборатории иммунохимии ИЭЧ СО РАН А. В. Аверьянов выделяет рекомбинантный фрагмент моноклонального антитела к бензопирену



лось, что эти антитела способны реагировать также с другими поли- и гетероциклическими углеводородами, но при этом они не связываются с аминокислотами, содержащими ароматическое кольцо, а также со стероидными гормонами. Это выгодно отличает их от известных зарубежных аналогов.

На третьем этапе из огромной библиотеки бактериофагов – бактериальных вирусов, широко используемых в исследовательской практике, – было выделено пять клонов, способных избирательно связываться с полученными моноклональными антителами. Это означает, что эти бактериофаги имеют в составе своей оболочки пептид, являющийся своего рода «белковым аналогом» бензопирена. Соответственно, при иммунизации мышей одним из этих клонов в организме будут вырабатываться антитела, специфичные к данному канцерогену – что и требуется от противоканцерогенной вакцины (Glushkov *et al.*, 2010).

Таким образом, исследования кемеровских ученых подтвердили возможность получения вакцин для профилактики рака на основе пептидов, имитирующих иммунологические свойства химических канцерогенов.

Было впервые показано, что антитела к химическим канцерогенам в организме человека могут как противодействовать генотоксическому действию канцерогенов, так и, напротив, усиливать его, способствуя возникновению злокачественных опухолей. Эти результаты необходимо учитывать при применении уже известных средств иммунопрофилактики рака и при разработке новых. Коль скоро эффект иммуностимуляции канцерогенеза нельзя исключить, следует относиться с большой осторожностью и к применению широко рекламируемых средств «повышения иммунитета».

Что касается Кузбасса, то очевидно, что планируемое здесь двукратное увеличение добычи угля с высокой

вероятностью приведет к увеличению канцерогенной нагрузки на население и росту онкологической заболеваемости. Поэтому при росте добычи угля крайне важно любым способом ограничить увеличение объема промышленных выбросов, в том числе путем применения новых технологий, разработанных в СО РАН.

Кроме того, необходимо разработать и внедрить (в первую очередь на предприятиях тяжелой промышленности и топливного цикла) комплекс лабораторных методов для определения индивидуальной устойчивости/чувствительности к канцерогенным факторам, характерным для Кузбасса, поскольку даже при низкой канцерогенной нагрузке определенные группы людей остаются подвержены онкологическим заболеваниям.

### Литература

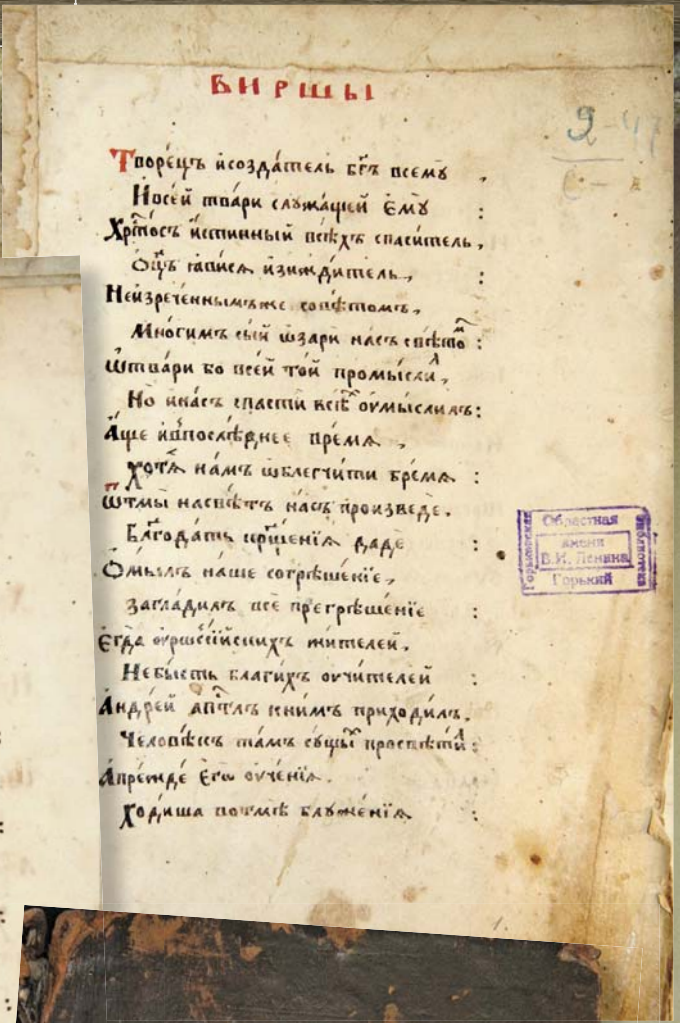
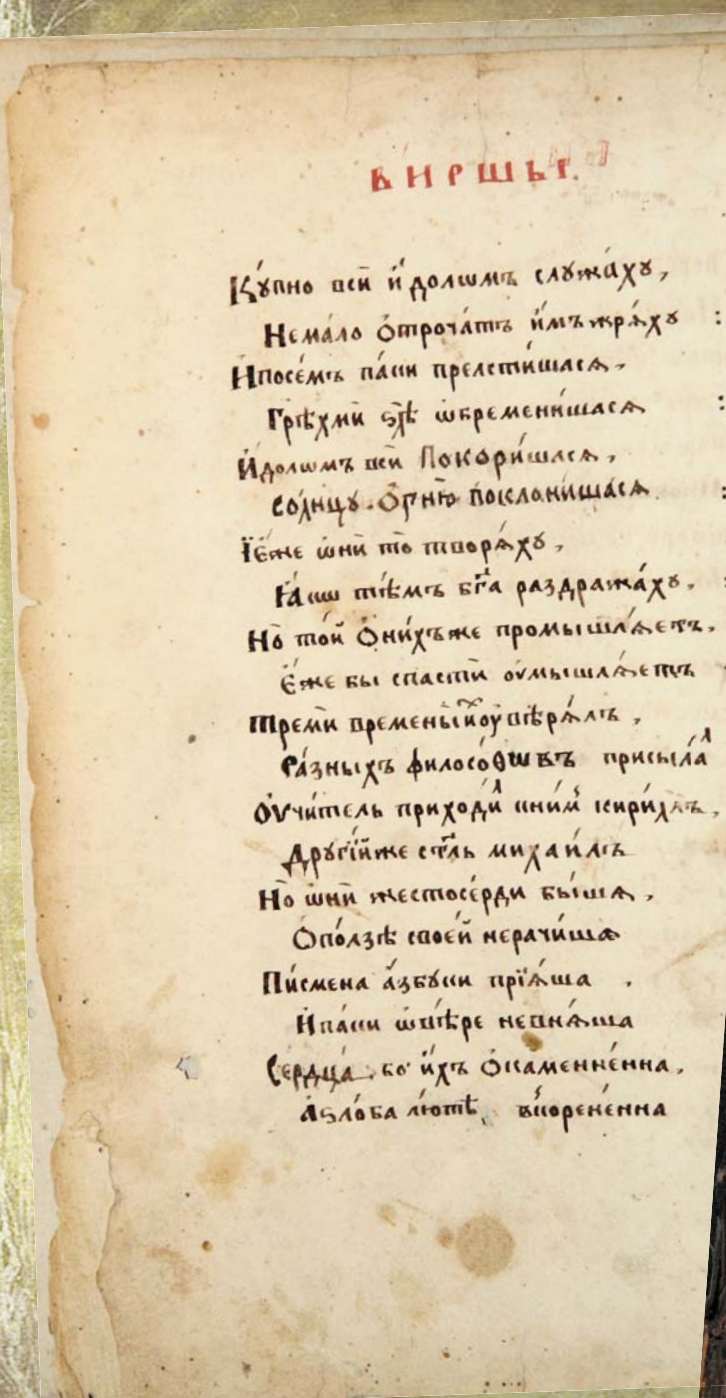
Глушков А. Н., Ларин С. А. и др. Заболеваемость злокачественными новообразованиями в Кемеровском АО «КОКС» // Вопросы онкологии. 2005. Т. 51, № 4. С. 444–446.

Глушков А. Н., Апалько С. В. и др. Моноклональные антитела к химическим канцерогенам группы полициклических ароматических углеводородов // Российский иммунологический журнал. 2009. № 3. С. 30–38.

Оценка и прогноз канцерогенной опасности для населения угледобывающих регионов России и Украины (на примере Кемеровской и Донецкой областей) / под общ. ред. А. Н. Глушкова, Г. В. Бондарь; Рос. акад. наук, Сибирское отд., Ин-т экологии человека [и др.] // Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2010. 156 с.

Glushkov A. N., Apalko S. V. *et al.* A Novel Approach to the Development of Anticarcinogenic Vaccines // Acta Nature. 2010. Vol. 2, № 4 (7). P. 105–111.

# Латухинская Степенная книга – история единого Государства Российского



Наш журнал писал уже (№ 3 за 2010 г.) о томской находке – обнаружении древнейшего списка Степенной книги царского родословия. Написанная при Иване Грозном в 1563 г., книга стала первой попыткой создания обобщающего труда по истории Московского царства в тогдашних его границах. Спустя более ста лет, в 1678 г., был создан памятник, повторяющий основную структуру Степенной книги, когда изложение событий ведется по «степеням» – правлениям русских государей, но при этом значительно расширяющий и хронологические, и территориальные границы отечественной истории. Ее создатель – церковный деятель, поэт, историк, музыковед Тихон Макарьевский, архимандрит Макарьевского Желтоводского монастыря под Нижним Новгородом.

В начале XIX в. сочинение архимандрита Тихона было подарено знаменитому историографу Н.М. Карамзину балахнинским купцом Латухиным – по его фамилии оно и получило свое нынешнее название. Несмотря на то, что Латухинская Степенная книга много использовалась историками и в конце XIX в. был поставлен вопрос о необходимости ее полного издания, текст памятника так и не был опубликован.

В 2011 г. академиком Н.Н. Покровским (ИИ СО РАН, Новосибирск) и д.и.н. А.В. Сиреновым (СПбГУ) подготовлено к печати первое издание этого выдающегося свода русской истории, написанного на 1268 больших листах с оборотами

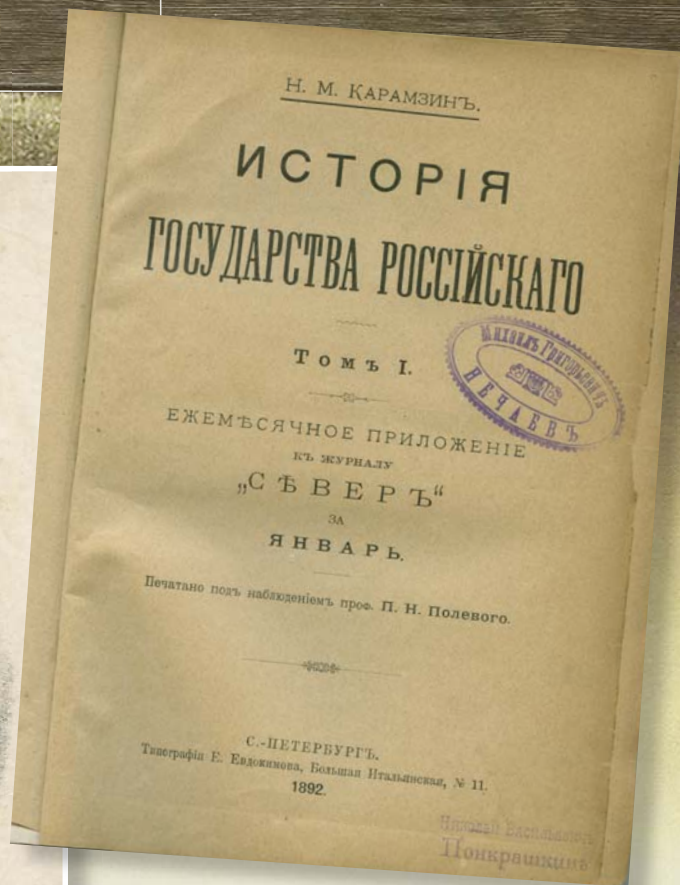


ПОКРОВСКИЙ Николай Николаевич – действительный член РАН, советник РАН, заведующий сектором археографии и источниковедения Института истории СО РАН (Новосибирск), председатель Сибирского отделения Археографической комиссии РАН. Награжден Демидовской премией (1995), орденами Почета, Дружбы, свт. Макария III ст., прп. Сергия Радонежского III ст. Автор и соавтор более 300 научных работ, в том числе 12 монографий

Открывают Латухинскую Степенную книгу «Вирши», написанные в виде акростиха. «Виршами» открывался и широко известный в свое время музыковедческий трактат архимандрита Тихона. Это примеры распространения в тогдашней России культуры барокко. Внизу – переплет Нижегородского списка Латухинской Степенной книги». Нижегородская государственная областная универсальная научная библиотека им. В.И. Ленина

**Ключевые слова:** русская история (IX—XVII вв.), Иван Грозный, Смутное время, Украина, Казанское ханство, Сибирь, историография IX—XVII вв., Тихон Желтоводский.  
**Key words:** Russian history (9—17 cc.), Ivan the Terrible, the Time of Trouble, Ukraine, Kazan khanate, Siberia, the historiography of 9—17 cc., Tikhon Zheltovodsky





Н. М. Карамзин – известный русский историк и историограф, создатель «Истории Государства Российского», одного из первых обобщающих трудов по истории России. Для описания событий XVI–XVII вв., особенно периода Смуты, широко использовал тексты из Латухинской Степенной книги.  
По: (Карамзин, 1892)

Авторство и время создания Латухинской Степенной книги, как и ее Нижегородского списка, четко обозначены в самой рукописи. Ее открывают «Вирши», написанные в виде акростиха: «Тихон монах о Бозе начах, книги сия нетрудно писах, доволну же мзду за се взях, в лавру Желтоводскую отдах, в лето семд тысящ сто осмдесят седмое в месяце ноемврии...».

Архимандрит Тихон был скорее всего уроженцем Нижнего Новгорода; трудно сказать, почему он стоял во главе любимого монастыря лишь два года, но уход его отсюда не означал конца его карьеры и многосторонней деятельности. Сразу после завершения его управления Желтоводским монастырем он был назначен архимандритом Воскресенского Новоиерусалимского монастыря, но, не успев занять этот пост, 19 января 1680 г. именным царским указом он был поставлен келарем Савво-Сторожевского монастыря. Эта обитель пользовалась особым расположением и молодого царя Федора Алексеевича, и патриаршего двора. Тихон служил казначеем у последнего патриарха Адриана, а затем был его душеприказчиком. Его близость к высшей церковной и светской власти не могла не повлиять на основные

тенденции Латухинской Степенной книги. Мощное воздействие на них оказали и важнейшие реалии времени, прежде всего успешное завершение основного этапа борьбы великороссов за воссоединение с двумя другими восточнославянскими народами – украинским и белорусским.

При написании своего труда архимандрит Тихон придерживался основной структуры Степенной книги – по правлениям русских государей («степеням»), но при этом он значительно отредактировал текст XVI в., исходя из нового понимания событий прошлого, и самое главное – дополнил его новыми разделами, описывавшими темные годы правления Ивана Грозного, убийство главы Русской Церкви Филиппа Колычева, разгром государем Великого Новгорода, прекращение династии Рюриковичей, начавшийся распад страны во время Смуты и возрождение России, правление первого Романова и его сына царя Алексея Михайловича.

Важнейшей новацией книги стало включение в рамки отечественной истории известий о прошлом тех территорий, которые не так давно стали частью Государства Российского: Казанского царства, Сибири и древних славянских земель Украины и Белоруссии, за которые



Вид Макарьевского Желтоводского Монастыря.  
Грав. А. Ухтомский, рис. М. Воробьев. 1816.  
Нижегородский государственный историко-архитектурный музей-заповедник

Русь несколько столетий вела тяжелые войны с Литвой и Польшей.

В 1902 г. дотошный исследователь Латухинской Степенной книги П. Г. Васенко удачно разделил ее на три обширные части: первая охватывает главы, хронологически соответствующие Степенной книге (до конца августа 1560 г.); вторая часть описывает события конца правления Ивана Грозного, начиная со знаменательной главы «О пременении нрава царева» и заканчивая завершением Смуты; третья часть содержит описание правлений двух первых Романовых (некоторые поздние списки книги продолжают ее до правления Петра II).

Вторая часть книги долгое время привлекала наибольшее внимание историков. Еще Н. М. Карамзин обратил внимание на целый ряд неизвестных текстов, описывающих события XVI–XVII вв., особенно периода Смуты. Он использовал их в своей «Истории Государства Российского», познакомив тогдашнее общество со многими фактами и оценками желтоводского архимандрита. Давно замечено, что А. С. Пушкин в своей драме «Борис Годунов» в немалой степени базировался на этих текстах Карамзина, восходящих к труду архимандрита Тихона.

Считая их уникальными, не имеющими более ранних источников, Карамзин широко вводил их в научный

оборот. Однако С. Ф. Платонов и его преемники указали на источники подавляющего большинства текстов Латухинской Степенной книги (Платонов, 1913). Это «Новый летописец», «Сказание Авраамия Палицына», «Хронограф» второй редакции, «Повесть, како восхити неправдою на Москве царский престол Борис Годунов...», «Сказание и повесть, еже содеяся в царствующем граде Москве и о разстриге Гришке Отрепьеве...». В широких хронологических рамках в книге также использовалась летопись Саввы Есипова «О Сибири и о сибирском взятии» с ее продолжением в Сибирском летописном своде, какие-то нижегородские, астраханские и ногайские известия.

### «Темные годы» царствования Ивана Грозного

Ценнейший массив исторических известий содержится в XVII «степени» Латухинской Степенной книги, которая посвящена «темному» периоду царствования Ивана IV, начавшегося в 1560-х гг. и закончившегося его смертью в 1584 г. Мрачные события, которые описывает автор, не соответствуют в целом благостному образу государя, складывающемуся на листах Степенной книги.





Справа – Патриарх Гермоген отказывает полякам подписать грамоту о признании польского королевича Владислава.  
Худ. П. Чистяков.  
1860. Холст, масло.  
Научно-исследовательский музей  
Российской Академии художеств  
(Санкт-Петербург)

книге оно приводится в достаточно резких выражениях: «По смерти же ея аки чужая буря велия къ тишине благосердия царьскаго припаде, и некако превратися многомудростный его умъ на яростный нравъ. И нача многихъ отъ сродства своего сокрушати, такоже и велможь отъ сигклита своего. Воистинну събысться, еже в Притчахъ реченное: „Ибо парение похоти прменяеть умъ незлобивъ“» (л. 823 об.).

Не мог автор Латухинской Степенной книги обойти вниманием и такое событие, приведшее к прекращению вековой династии Рюриковичей и послужившее, по мнению автора, главной причиной наступившей затем Смуты, как произошедшее в 1581 г. убийство Иваном Грозным «сына своего болшаго царевича Иоанна, мудрымъ смыслоу и благодатию сияюща», которого отец «яко несозрелый гроздь дебелимъ воздухомъ отреби и отъ ветви жития сего отторгну» (лл. 823 об. – 824).

За этими строками следует первое в книге известие о Борисе Годунове, который «дерзнулъ внити во внутрення кровы царевы» и просить о тяжело раненом царевиче Иване. За это царь «велий на него гневъ возложи, и истязание многое сотвори, и лютыми ранами его уязви». Позднее он раскаялся в содеянном и, узнав, что Бориса лечил купец Великой Перми, «именуемый Строгановъ», «повеле того купца назвати выше гостя. И отъ того времени те Строгановы начаша именоватися съ „вичем“ именитыми людми» (л. 825 об.). В приведенном рассказе истине соответствует лишь убийство царем своего наследника, однако историку будет небезынтересна попытка автора объяснить удивительное возвышение Строгановых, снаряжавших, как известно, сибирскую экспедицию Ермака. Примечательно и то, что рассказ о благородстве Годунова противоречит общей тенден-

«Сопега же нача къ монастырю приступати, подкопы многия подводяше и огненными ядрами зажигае, но противу Божия силы не возможе стояти», – так на страницах Латухинской Степенной книги (л. 1004) описана осада Троице-Сергиевой обители. На литографии XIX в. запечатлен один из важнейших моментов героической защиты обители – большой штурм поляками 13 октября 1608 г. *Сергиево-Посадский государственный историко-художественный музей-заповедник*

ции Тихона к резкому обличению этого персонажа как противника Рюриковичей.

Ближе к концу повествования о сначала мудром, а потом безумно-яростном царе, Тихон помещает три известных сочинения XVI в., повествующих о злодеяниях Ивана Грозного: первое послание Андрея Курбского царю, Житие митрополита Филиппа Колычева и страшная в своем реалистическом описании «Повесть о походе государя царя в Великий Новгород» (гл. 56–58). При этом автор отдает и некую дань уважения Рюриковичу. Так, обличительным словам Курбского о царе, «совесть прокаженну имущи, якова же и въ безбожныхъ языцехъ не обретесе», Тихон предпосылает такой заголовок: «О измене князь Андреа Курбскаго», что является фактически верным.

С необычайной торжественностью начинает Тихон Макарьевский свой рассказ о последнем государе из династии Рюриковичей – Федоре Иоанновиче, правителе кротком и богобоязненном. «Благочестиваго корене благая и честная отрасль богомудрый великий государь благоверный царевичъ и великий князь Феодоръ Иоанновичъ всея России», – пишет он в по-



священной ему «степени» (лл. 865–917). Десятую часть повествования занимает изложение не нарративного, а документального источника, имеющего одновременно и церковный, и светский характер, – «Чина венчания» на царство Федора Иоанновича (лл. 866 – 872 об.). Торжественный, неторопливый рассказ о пышном действе, происходившем в соборах и палатах Кремля, являет собой яркий контраст с эмоционально страшными сценами предыдущей «степени» о расправах, учиненных Иваном Грозным над жителями Новгорода Великого.

## Смутное время

Тягчайшие для страны события Смутного времени (1598–1613 гг.) архимандрит Тихон описывает во многом опираясь на «Сказание» келаря Авраамия Палицына, деятельного участника 16-месячной обороны Троице-Сергиевского монастыря от отрядов польских полевых командиров Сапеги и Лисовского. Энергичному келарю принадлежала видная роль и во время решающих боев за Москву с гетманом Яном Каролом Ходкевичем. Именно он смог навести мосты между

вождями второго ополчения Пожарским и Мининым и остатками первого ополчения, казаками Трубецкого. Во время решающих боев за Москву его проникновенная проповедь пробудила в казаках патриотические чувства, и они решили оказать помощь в освобождении Москвы.

Палицын и позднее убеждал казаков не снимать осаду Кремля и Белого города до их окончательного падения. Когда казаки потребовали срочно выплатить им жалованье, Авраамий собрал в монастыре золотую утварь и привез ее на двух телегах в лагерь осаждающих под Москву. Устыдившись своего поведения, казаки вернули все монастырю и продолжили осаду Кремля.

С поразительной яркостью и точностью в деталях автор Латухинской Степенной книги показал на ее листах, как опустошена оказалась Россия за время Смуты, как близко она стояла к краю пропасти и какими многими и тяжелыми ратными трудами удалось постепенно отодвинуть ее от этого края. После освобождения Москвы обескровленная Россия еще не один год отражала наступление интервентов, пытавшихся прорваться к столице и продолжавших грабить русские города. Лишь

**О МИРОЛЮБИИ СЛАВЯН  
И ВОИНСТВЕННОСТИ МАГОМЕТАН**

Отдает дань автор Латухинской Степенной книги и столь характерному для историков XVII в. баснословию в объяснении различных этнонимов, названий регионов, городов и т. п.

Это, например, относится к заимствованным из «Синописа» и других источников рассказам о происхождении слова россы от «россеяны» (т. е. рассеянные по огромной территории), славян – «въ память славы народа славенска», а также от «князей Словена и Руса» (л. 14), сарматов – «отъ Асармата или отъ Сармофа, праправнука Арфаксадова, сына Симова». По мнению

архимандрита Тихона, название города Москва происходит от имени внука Ноя Мосоха (лл. 18 об. — 19 об.), а название Астрахань – от древней славянской Тьмутаракани. Как он пишет, «Асторохань, иже прежде зовомъ бе Тмурохань, въ немъ же господствуя, и церковь во имя Пречистыя Богородицы постави князь Мстиславъ, сынъ равноапостолнаго самодержца Владимира» (л. 796). Баснословным является и следующее, якобы ветхозаветное, объяснение миролюбия славян и воинственности магометан: последние «того ради... сурови и безстрашни на насъ бываху, отъ праотець бо своихъ благословени бяху, отъ Исмаила и Исава прегордаго, питатися оружиемъ своимъ. Мы же, есмы смиреннии, отъ кроткаго изыдохомъ праотца нашего Иакова, и того ради силно не можемъ противитися имъ, смиряющеся предъ ними, яко Иаковъ предъ Исавомъ. Токмо побеждаемъ ихъ непобедимою силою честнаго креста Господня, то бо есть намъ во бранехъ победа и утвержение на сопротивныя намъ агаряны» (лл. 734 об. — 735)

Особую дань уважения автор Латухинской Степенной книги выразил князю Даниилу Галицкому – талантливому полководцу и политику Галицко-Волынской Руси, который добился восстановления единства княжества, основывал города, поддерживал развитие ремесел. Его правление явилось периодом наивысшего расцвета юга Руси. Рассчитывая на помощь западных соседей в борьбе с войсками Золотой Орды, в 1254 г. Даниил принял от папской курии титул «короля Руси». В 2001 г., в год празднования 800-летия Даниила Галицкого, на одной из старейших площадей Львова появился памятник основателю города – конная фигура и на постаменте надпись «король Данило» (скульпторы В. Ярич, Р. Романович, архитектор Я. Чурилик)

прочная мирская спайка горожан, упорная стойкость русских воинов да страстный призыв церкви позволили тогда сохранить страну.

Вообще, о роли церкви в истории России, о значении для народа нравственных норм православия желтоводский архимандрит пишет постоянно. Он помещает в своей книге жития 120 русских святых, от святых князей Ольги и Владимира, старцев Киево-Печерского монастыря и до Сергия Радонежского и подвижников XVII в. Подробно Тихон излагает и подвиг святого великомученика патриарха Гермогена, поплатившегося жизнью за активное противодействие польским оккупантам, за отказ видеть на русском престоле польского королевича Владислава, за страстные призывы к жителям русских городов объединиться для освобождения столицы и всей страны.

Ознаменовавший собой окончание Смутного времени Земский собор собрался в январе 1613 г. для избрания

В 1674 г. в типографии Киево-Печерской лавры было осуществлено первое издание книги, написанной ректором Киево-Могилянской коллегии Иннокентием Гизелем: «Синопис, или Краткое собрание от различных летописцев о начале славяноросийскаго народа...». Она на многие десятилетия стала главным учебником по истории восточных славян. Именно этот труд лег в основу разделов Латухинской Степенной книги, посвященных истории Галицко-Волынской Руси – одного из самых больших княжеств периода феодальной раздробленности

на престол нового царя. Тихон подчеркивает его словесно-представительный характер, широкое участие разных слоев населения: «Со всехъ градовъ Российския земли народи въ преименитый царствующий градъ Москву приидоша, о царскомъ же избрании князи и бояре, гости и торговые люди, атаманы и казаки, головы и стрелцы кийждо своего чина писание за руками принесоша» (л. 1092). Макарьевский архимандрит рисует благостную картину единодушия всех курий собора, не говоря ни слова о спорах, ведущихся вокруг кандидатур на престол. Как он указывает, лишь одно имя стояло во всех «заручных выборах» – Михаила Федоровича Романова.

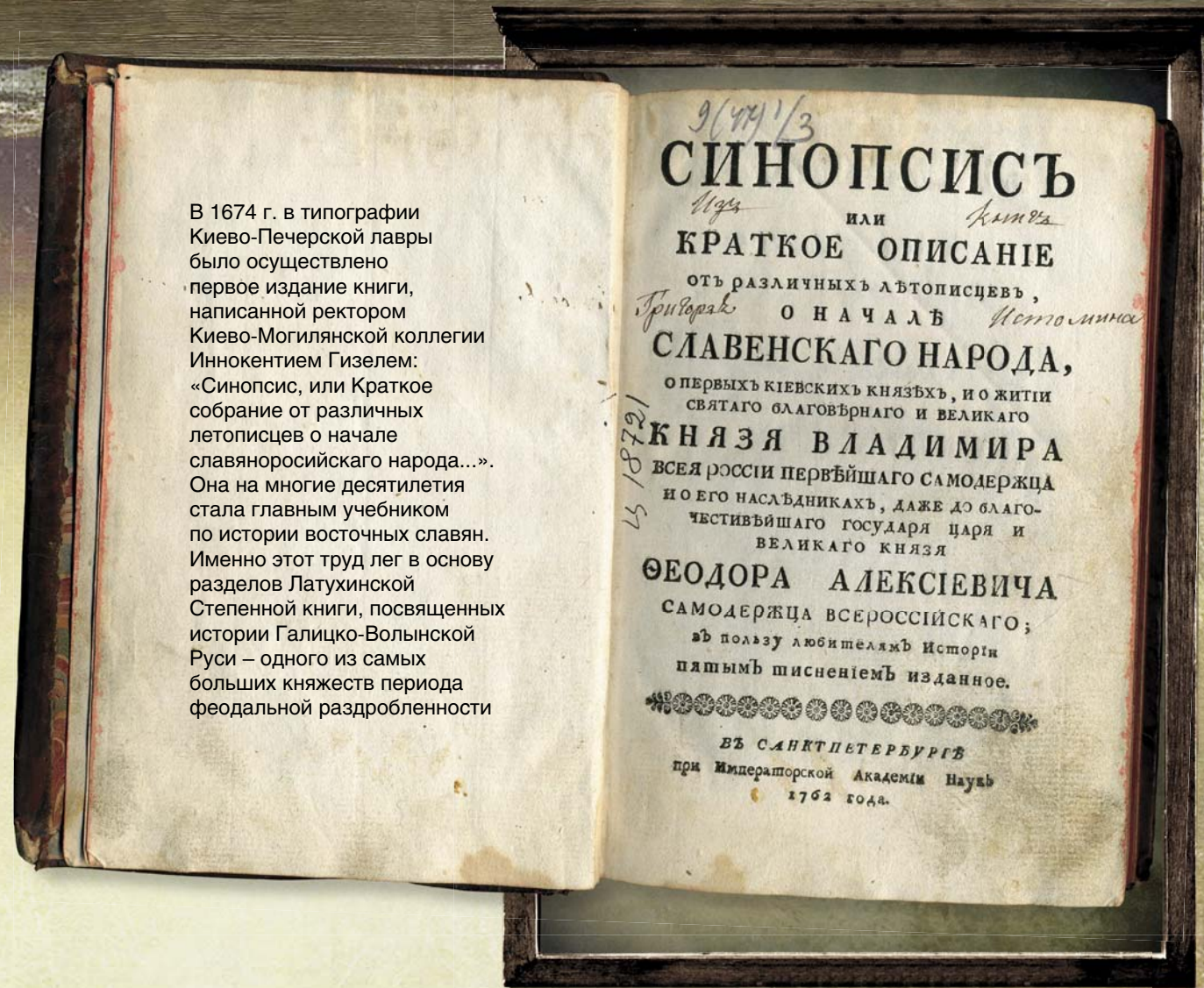
**Воссоединение  
восточных славян**

Решающее значение для включения в Государство Российское западных земель имели последовавшие в середине XVII в. русско-польская война 1648–1654 гг., Переяславская Рада 1654 г. и Андрусовское перемирие

1667 г., по которому к России отходила вся Левобережная Украина, а также столичный город Киев.

Надо сказать, борьба за западные земли легла тяжелым финансовым бременем на Россию. В обширных фондах Сибирского приказа сохранилось немало документов той поры, денежных отчетов и «отписок», посвященных украинским делам. Именно сибирская «валюта», коей являлся соболь, стала важнейшим источником финансирования и военных операций, и последовавших затем вполне мирных действий по поддержанию административного порядка на отвоеванных западных землях.

В XVII в. после Смуты резко возросли, приобретая новое качество, культурные связи Московского государства и украинской православной элиты. Борьба ученого духовенства Киева против насаждения литовско-польскими властями унии и католицизма вызывала большое сочувствие у русских. Уже в 1640-х гг. в Москве перепечатывались и пользовались исключительной популярностью полемические произведения украинских православных. Еще раньше в столицу проникло





Оборот последнего листа львовского «Апостола»  
Отдел редких книг и рукописей Государственной публичной научно-технической библиотеки СО РАН (Новосибирск)

68  
Государственный деятель и военачальник Великого княжества Литовского Г. А. Ходкевич (ум. 12 ноября 1572 г.), представитель известного шляхетского рода, был сторонником независимости княжества, выступал против его объединения с Польшей в Речь Посполитую, поддерживал кириллическое православное книгопечатание. В 1568 г. он основал в своем имени Заблудове типографию, в которой продолжили деятельность уехавшие из Москвы первопечатники Иван Федоров и Петр Мстиславец. В 1570 г. Ходкевич под давлением католических священников перестал оказывать им свою помощь, и И. Федоров перебрался во Львов, где основал собственную типографию. В 1574 г. он напечатал там второе издание «Апостола». Как известно, первое издание, осуществленное в Москве десятью годами ранее, открыло эру книгопечатания на Руси, львовским же изданием начинается история украинской печатной книги. В память об оказанной когда-то поддержке гетмана Ходкевича Федоров поместил его герб на обороте первого листа своего львовского «Апостола»

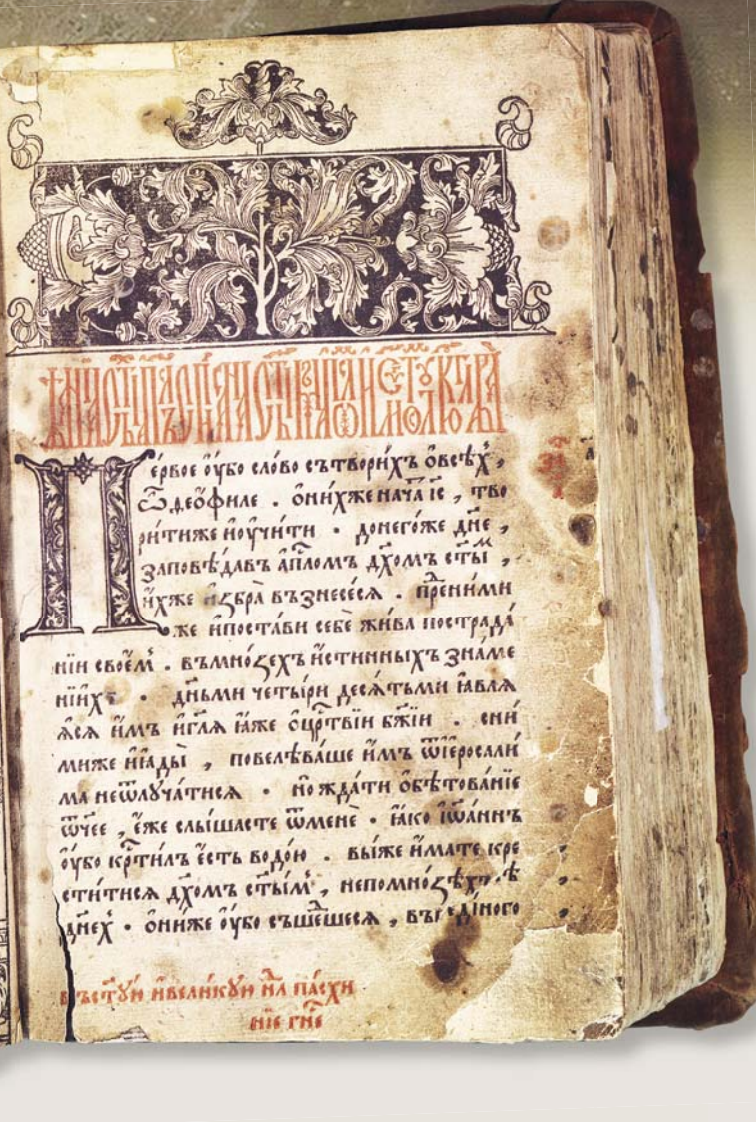
На обороте первого листа «Апостола», изданного Иваном Федоровым во Львове в 1574 г., красуется герб гетмана Ходкевича (справа), а окончание книги украшает сложная геральдическая композиция, объединяющая герб Львова и издательскую марку Ивана Федорова (слева). В нижней части этой композиции стоит надпись «Иоанн Федорович – друкаръ Москвитин» (друкаръ – устар. «книгопечатник»).  
Отдел редких книг и рукописей Государственной публичной научно-технической библиотеки СО РАН (Новосибирск)

влияние украинского школьного образования и научно-образовательных центров вроде Киево-Могилянской коллегии (затем академии), где немало внимание уделялось не только риторике, пиитике, но и аристотелевой логике.

В 1671 г. ректор этой коллегии Иннокентий Гизель создал «Синописис», посвященный истории восточных славян, в котором говорилось о единстве Великой и Малой Руси. Труд этот, обретший большую популярность, впоследствии многократно переиздавался. Именно



Разворот львовского «Апостола» Ивана Федорова с гравюрой евангелиста Луки и началом текста (Деян. 1: 1—6). Отдел редких книг и рукописей Государственной публичной научно-технической библиотеки СО РАН (Новосибирск)

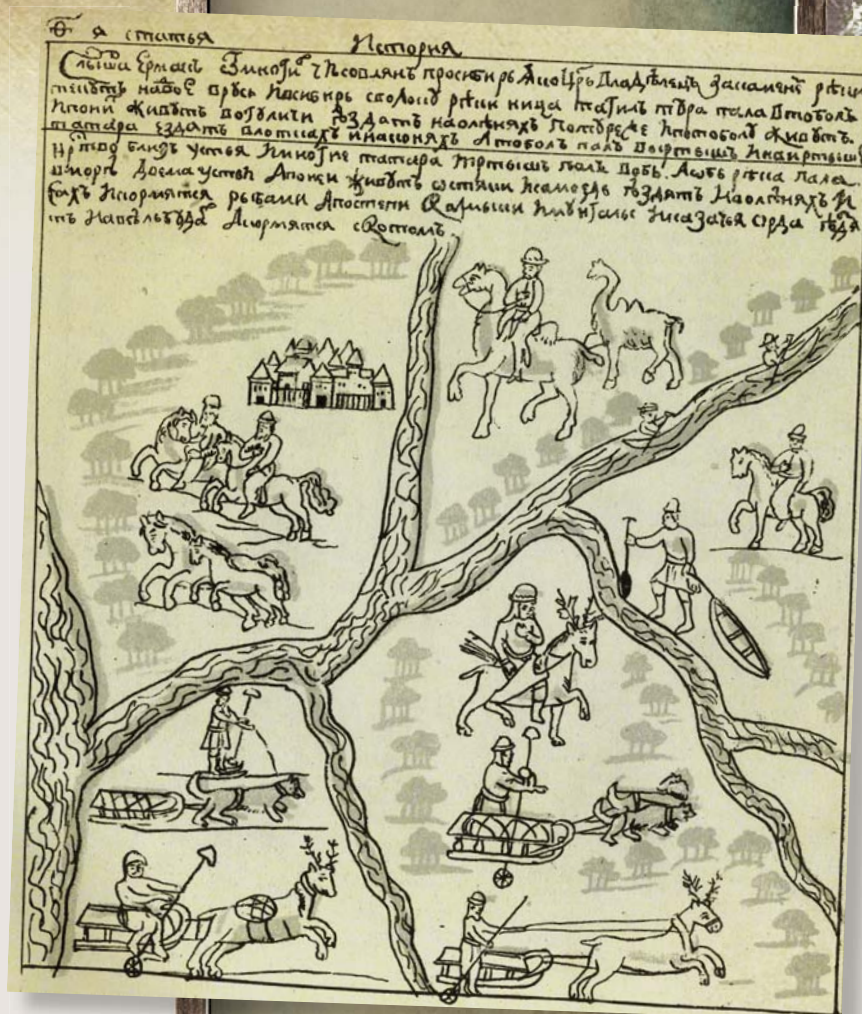


его архимандрит Тихон положил в основу разделов Латухинской Степенной книги, посвященных истории Галицко-Волынской Руси, совместной борьбы восточных славян против татаро-монгольского ига, кратких, но точных известий о правителях Киева в составе Великого княжества Литовского. Так, на л. 796 архимандрит Тихон счел нужным поместить следующее сообщение: «В том же году (1555) бысть воевода в Киеве Григорий Александрович Ходкиевич».

Не обошел автор своим вниманием и острую тему московско-литовской борьбы за земли восточных славян, причем использовал он как сведения русских летописей и Степенной книги, так и краткие тексты

Основным источником сведений о дорусской Сибири, ее географии и истории, а также «о прилучении Сибири к России» для автора Латухинской Степенной книги послужила летопись «О Сибири и о сибирском взятии», написанная в 1636 г. тобольским архиерейским дьяком Саввой Есиповым. Аналогичные сведения, но только снабженные иллюстрациями, содержались еще в одной сибирской летописи – Кунгурской, созданной в конце XVI в. одним из участников похода Ермака. О сибирских реках, народах, вдоль них проживающих, и основных средствах их передвижения рассказывает 9-я статья Кунгурской летописи. Как было принято в древних русских картах, юг на них изображался наверху, а север – внизу. История рассказывается характерным народным стилем: «Слыша Ермакь оть многих Чюсовлянъ про Сибирь, яко царь владелець, за Каменемъ реки текуть на двое, въ Русь и въ Сибирь, съ волоку реки Ница, Тагиль, Тура пала въ Тоболь, и по нихъ живутъ Вогуличи, ездять на оленяхъ; по Туре же и по Тоболу живутъ Татара, ездять въ лоткахъ и на коняхъ. А Тоболь палъ въ Иртышь; и на Иртыше царство близъ устья и многие Татара, и Иртышь палъ въ Обь, а Обь река пала въ море двема устьи, а по ней живутъ Остяки и Самоедь, ездять на оленяхъ и псахъ и кормятся рыбами; а по степи Калмыки и Мунгалы и Казачья орда, ездять на вельбудахъ, а кормятся скотомъ».

По: (Краткая сибирская летопись (Кунгурская), 2003)



«Синописа». Любопытно наблюдать, как на страницах одной и той же книги мирно уживаются пышные восхваления «самодержцев Владимирских, Московских и всея Руси» с таковыми же восхвалениями в адрес «самодержцев Галицких и всея Руси». Такое соседство противоречащих друг другу сведений автор даже не пытается объяснить, оставляя этот нелегкий труд для последующих поколений историков.

Особую дань уважения Тихон Макарьевский отдает знаменитому правителю Даниилу Галицкому (ум. в 1264 г.), князю Волынскому и Галицкому, первому королю Руси. Хотя для православного автора XVII в. здесь есть одна «заковыка»: Даниил получил свой королевский титул от имени папы римского. В оправдание Тихон пишет, что это отнюдь не может быть упреком королю, «оба же веру православную крепко утверди и в ней до кончины живота своего пребысть».

### Продвижение на восток

Продолжением важной геополитической темы, поднятой в Латухинской Степенной книге, является изложение истории продвижения России на восток, в том числе в Сибирь.

Рассказывая о времени правления Ивана IV, архимандрит Тихон сообщает об истории казанских и астраханских татар, о присоединении их земель к России, а также подробно излагает известия главной сибирской летописи, созданной в 1636 г. тобольским архиерейским дьяком Саввой Есиповым, о дорусской Сибири, ее географии и истории, а также «О прилучении Сибири к России». В следующих разделах книги рассказ о походе Ермака продолжается известием о поставлении первым воеводой Д. Чулковым Тобольска и о создании других сибирских городов, т. е. о начале систематического освоения зауральских земель. Так в общерусский памятник, обобщающий главные пути отечественной истории, входит русская и аборигенная Сибирь.

Очень интересно переосмысление нескольких важных событий великороссийской истории под влиянием знаменитой «Истории о Казанском царстве». Неизвестный автор «Казанской истории», русский по происхождению, с 1532 г. двадцать лет прожил в Казани как пленник, принявший мусульманство, и лишь во время взятия Казани в 1551 г. вышел из города и, став опять православным, поступил на службу к Ивану Грозному. Он имел возможность задолго до этого вернуться на Русь, но почему-то не воспользовался ею. Некоторые считают, что он нес тайную разведывательную службу при казанском дворе. Как бы то ни было, ему удалось собрать изрядный массив местных источников, повествующих о татарской истории за добрых 300 лет, и впервые предложить их русскому читателю. И хотя в целом его позиция промосковская, он излагает немало фактов и версий, противоречащих изложению событий в русских летописях и в Степенной книге.

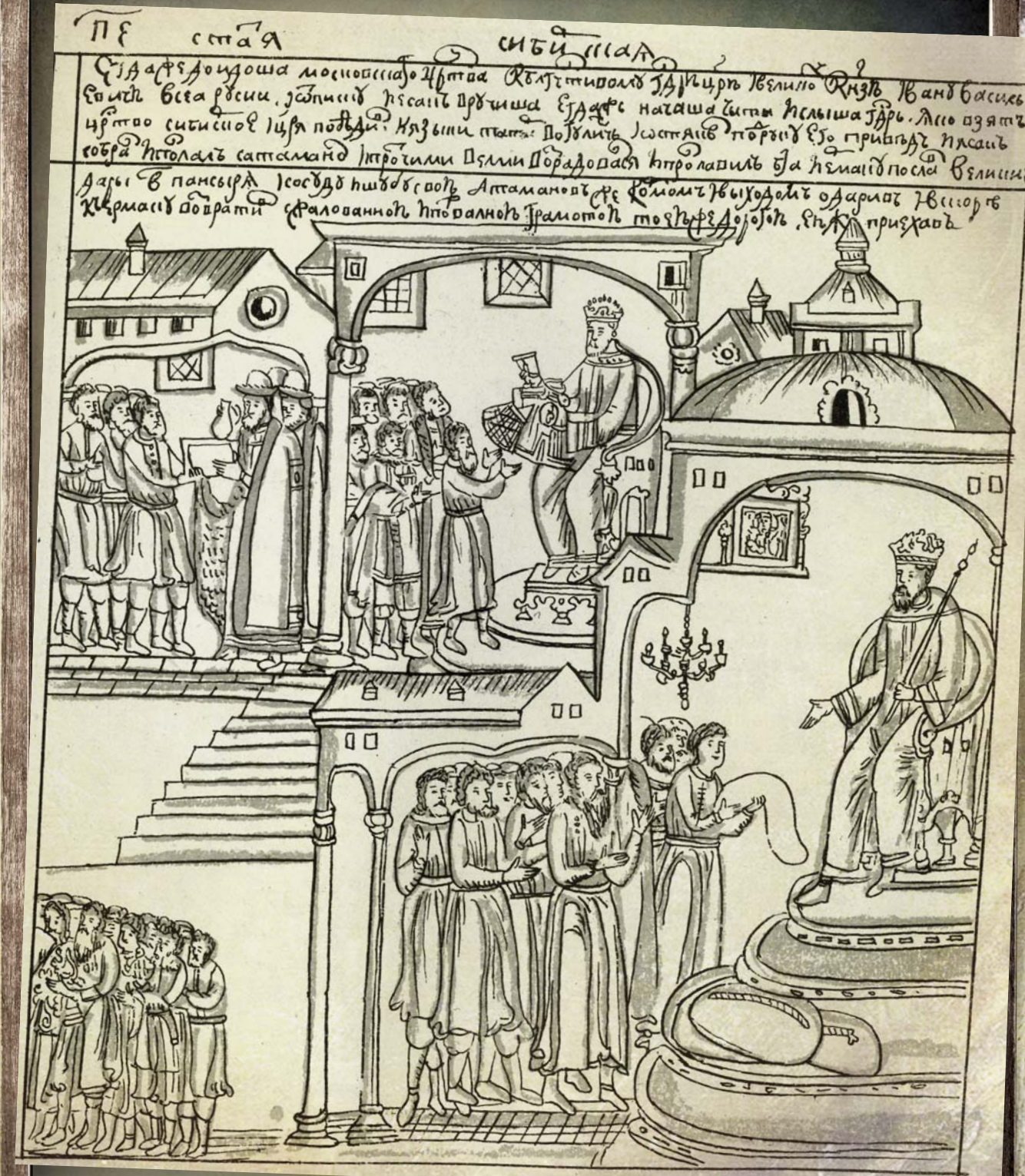
Вот лишь один пример. В самый разгар междоусобной войны за московский престол, разгоревшейся во второй четверти XV в. между великим князем Василием II, внуком Дмитрия Донского, и князьями Галича Мерского, последние получили решающую помощь

от татарского хана Улу-Мухаммеда – знаменитого основателя Казанского царства. В результате одного из набегов татар Василий II попал в плен и был ослеплен. Естественно, что источники, писавшиеся при победившем в конце концов Василии и его потомках, резко отрицательно характеризовали и русских противников великого князя, и их татарских союзников. Однако автор «Казанской истории» главную вину возлагает не на татарского хана, хотя и называет его «злым змеем», а на самого московского князя и его советников. Когда Улу-Мухаммед униженно просил Василия II не нарушать заключенный ранее между ними мирный договор и не нападать на малые татарские силы под Белевом, тот не внял его просьбам и послал на него большое войско. Божья правда оказалась в тот раз не на стороне русских, несмотря на их десятикратное превосходство в силе. «Казанская история», а вслед за ней и архимандрит Тихон, объясняет такой печальный для русских исход тем, что Василий II пренебрег клятвенным обещанием, данным ему татарским ханом на пороге православной церкви и подкрепленным обращением к единому Богу православных и мусульман: «Или ныне аще ти сотворю кое зло, яко же ты мниши, преобидя любовь твою, еже сотворишь еси ко мне, напита мя яко просителя нища, да будет ми *Богъ твой и мой*, убиваяй мя, въ Него же азъ верую» (курсив наш – Н. П.).

В годы, когда писалась Латухинская Степенная книга, в подданство русской короны вошло уже немало крупных мусульманских народов. Оглядываясь почти на два столетия назад, архимандрит Тихона недвусмысленно говорит: «Се бо поганого царя покорение и смирение преможе силу великаго князя, и яко да не преступаетъ клятвеннаго завета, аще и с поганымъ сотвори».

В 85-й статье Кунгурской летописи рассказывается о том, как царь Иван IV получил известие о присоединении Сибири к его державе и как за это он наградил казаков: «Егда же доидоша Московскаго царства къ благочестивому государю царю и великому князю Ивану Васильевичу всеа Русии, и отписку и ясакъ вручиша. Егда жь начаша чести, и слыша государь, яко взять царство Сибирское и царя победивъ, и языки, Татарь, Вогуличь и Остяковъ подъ руку его приведе, и ясакъ собралъ и послалъ съ атаманомъ и протчими, велми возрадовался и прославилъ Бога, и Ермаку пославъ великие дары, 2 пансыря и сосуду и шубу свою. Атамановъ же кормомъ и выходомъ одаривъ, и вскоре къ Ермаку возвративъ съ жалованною и похвалною грамотою, тою же дорогою, ею же приехавъ».

По: (Краткая сибирская летопись (Кунгурская), 2003)



Риса степя  
 ибиснал  
 Албата 35 посланы воеводы стоснави Василии Борисовича Сивинь Давидъ мягнши  
 Даписиыной Голова Данило Чюлковъ ствля стыи трысь поставиша градъ Тюмень и на  
 въ ств. 29 день еже Чинги слыль, и церковь  
 воздвигоша Всемилоствигаго Спаса, первую  
 вь Сибире, и ясакъ со многих Татарь собраша  
 по Туре и по Тоболу и Исете и Пышме.



Обширнейший свод отечественной истории, созданный в 1678 г. архимандритом Тихоном Макарьевским, существенно развил применительно к новым событиям основные идеи, заложенные в Степенной книге царского родословия XVI в.

Важнейшим достоинством этого труда явилось открытие для российского читателя истории новых территорий, вошедших в состав Московской Руси: Украины, Белоруссии, Казанского и Астраханского ханств, Сибири. Все они были включены настоятелем Желтоводского монастыря в общий исторический процесс становления Российского государства. Тихон предпринял серьезную попытку нарисовать картину общего со времен Киевской Руси прошлого всех трех восточнославянских народов и тех этносов, чья единая с Россией история относилась к более позднему времени.

Для выполнения столь грандиозной задачи автор Латухинской Степенной книги сумел найти немало ценных источников, таких как «Синописис» Иннокентия Гизеля, «Казанская история», «Сибирская летопись Саввы Есипова». Однако, приведя огромное количество сведений из этих источников, каждый из которых под своим углом рассматривал прошлое, он не сумел привести в единство всю разноголосицу фактов, непротиворечиво объяснить причины их и следствия. Впрочем, он и не всегда к этому стремился. Задача такого объяснения, перехода от накопления исторических фактов к единой концепции прошлого Российской империи станет главным делом науки будущих веков – и делом весьма нелегким.

Об основании Тюмени Кунгурский летописец сообщает следующее: «Лета 7093, посланы воеводы съ Москвы, Василей Борисовичъ Сукинъ, да Иванъ Мясной, да писменой голова Данило Чюлковъ съ тремя стыи человекъ, поставиша градъ Тюмень, июля въ 29 день, еже Чинги слыль, и церковь воздвигоша Всемилоствигаго Спаса, первую вь Сибире, и ясакъ со многих Татарь собраша по Туре и по Тоболу и Исете и Пышме».  
 По: (Краткая сибирская летопись (Кунгурская), 2003)

Автор и редакция журнала выражают благодарность за помощь в подготовке публикации сотрудникам Нижегородской государственной областной универсальной научной библиотеки им. В. И. Ленина, Российской государственной библиотеки (Москва), Государственной публичной научно-технической библиотеки СО РАН (Новосибирск), Нижегородского государственного историко-архитектурного музея-заповедника, Сергеево-Посадского государственного историко-художественного музея-заповедника

Статья подготовлена в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Традиции и инновации в истории и культуре» (направление 4)

О СТЕПАНЕ РАЗИНЕ

В последней «степени» Латухинской Степенной книги непропорционально большой объем (9 глав из 17) архимандрит Макарьевского Желтоводского монастыря отводит описанию событий, лично ему весьма небезразличных, – восстанию Степана Разина и действиям разинцев в Поволжье. Источниками глав о «разинщине» послужили две повести, автором одной из них, рассказывающей об осаде Макарьевского Желтоводского монастыря, несомненно, был очевидец. Возможно, здесь нашли отражение и личные воспоминания Тихона. Историки, много занимавшиеся движением Степана Разина, отмечали точность фактических сведений, приводимых в книге. Ее автор тщательно, нередко дословно следует своим источникам, подробно рассказывает и о начале похода Степана Разина, и о его набегах на Персию, и о повальном переходе на его сторону жителей Среднего и Нижнего Поволжья, Урала. Особенно детально излагается осада Желтоводского монастыря, присоединение к восставшим соседних сел Мурашково и Лысково, переговоры монастырских властей с восставшими, отражение первых штурмов и захват монастыря. С большой реалистичностью описываются страшные зверства Разина и его казаков. Конечно, эти картины не были популярны у советских историков, хотя они охотно использовали достоверный фактический материал Латухинской Степенной книги о ходе «крестьянской войны под руководством Степана Разина», отмечая при этом ее «мистический церковнический характер». И действительно, как и для движения Ивана Болотникова, массовое присоединение к разинцам ближнего и дальнего населения Тихон объясняет лишь гневом Господним, не пытаясь выискать в более земные причины народных волнений. Исключение он делает лишь для Медного бунта 1662 г., справедливо связывая его с неудачной попыткой денежной реформы

Литература  
 Васенко П. Г. Заметки к Латухинской Степенной книге. Отдельный оттиск из Сборника Отделения русского языка и литературы Императорской Академии Наук. СПб., 1902. Т. LXXII, № 2. С. 1–89.

Карамзин Н. М. История Государства Российскаго. СПб., 1892. Т. 1.

Корецкий В. И. К вопросу об источниках Латухинской Степенной книги // Летописи и хроники – 1973 г. М., 1974. С. 328–337.

Переписка Ивана Грозного с Андреем Курбским / Подготовка текста Я. С. Лурье и Ю. Д. Рыкова. Л.: Наука, 1979.

Платонов С. Ф. Древнерусские сказания и повести о Смутном времени XVII века как исторический источник. 2-е изд., СПб., 1913.

Сиренов А. В. Степенная книга: история текста / Отв. ред. Н. Н. Покровский. М., 2007.



Н.В. КОСОВА



# ЛИТИЙ В ЛИДЕРАХ

## Химические источники тока

*Ключевые слова:* литий-ионные аккумуляторы, катод, анод, наноматериалы.  
*Key words:* lithium-ion batteries, cathode, anode, nanomaterials

Современная жизнь немыслима без разнообразных портативных электронных устройств и электротранспорта. Для них необходимы особые источники электропитания – высокоэнергоемкие, легкие, долговечные, безопасные, дешевые и надежные. В настоящее время этим требованиям лучше всего удовлетворяют литий-ионные аккумуляторы, причем благодаря интенсивным исследованиям их электрохимические характеристики постоянно улучшаются

В наше время стремительного технического прогресса не должен удивлять тот факт, что буквально на протяжении одной человеческой жизни произошла быстрая «эволюция» источников тока и химических аккумуляторов. Громоздкие свинцовые батареи сменились на более компактные и энергоемкие никель-кадмиевые, а затем – никель-металло-гидридные. Наконец, в начале 1970-х гг. была реализована давняя инженерная мечта: созданы химические источники тока на основе самого электрохимически активного восстановителя – металлического лития. Использование этого металла позволило значительно увеличить рабочее напряжение и удельную мощность источника тока.

Однако работа первых аккумуляторов с анодом из этого металла была сопряжена с опасностью взрыва и возгорания в результате разгерметизации и могла приводить к короткому замыканию вследствие образования дендритов лития и их прорастания до катода. Многочисленные попытки модифицировать материал анода не увенчались успехом, и лишь в начале 1990-х гг. была разработана принципиально новая и более безопасная разновидность литиевых батарей – литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) – с графитовым анодом.

### Литий «с плюсом»

Функционирование литий-ионных аккумуляторов основано на способности материалов, обладающих определенной структурой (так называемой «матрицей»), к обратимому внедрению ионов лития. Такие матрицы выступают в качестве «хозяина», который предоставляет свободные пространства своей структуры «гостю» – иону лития  $Li^+$ . В процессе заряда (разряда) аккумулятора эти ионы уходят из одной матрицы и внедряются в другую. Выходное электрическое напряжение таких систем чуть меньше, чем металлических литиевых, зато уровень безопасности существенно выше.

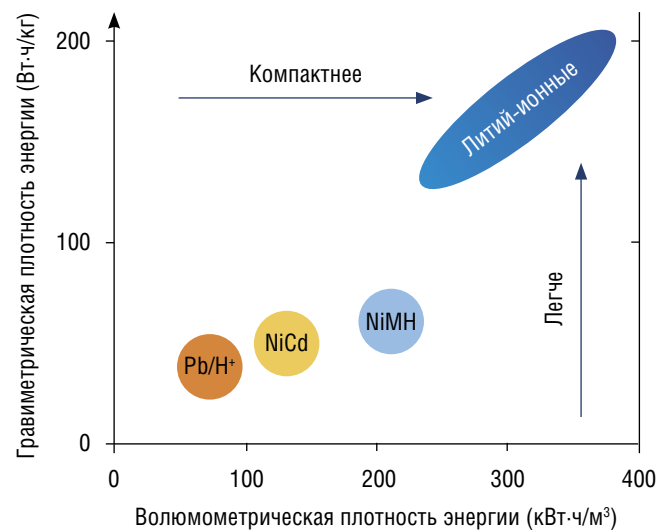
По основным техническим характеристикам ЛИА существенно превосходят «конкурентов». Так, по сравнению с никель-металло-гидридными аналогами у ЛИА вдвое больше электрохимическая емкость и почти втрое выше плотность аккумулируемой энергии и удельная



КОСОВА Нина Васильевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института химии твердого тела и механохимии СО РАН (Новосибирск). Член Американского электрохимического общества. Автор и соавтор более 150 научных работ и 6 патентов

Электрохимия как наука, изучающая взаимосвязь электрических явлений и химических реакций, началась с опытов итальянца Л. Гальвани в конце XVIII в., обнаружившего, что прикосновение металлических предметов к мышечной ткани вызывает такой же эффект (резкое сокращение), как и действие разряда от «лейденской банки» – самого первого накопителя электроэнергии. Знаменитый соотечественник Гальвани, А. Вольта, предположил, что «гальванический» эффект обусловлен наличием контакта разнородных металлов, и в 1800 г. создал прибор, производящий «неистощимый заряд». «Вольтов столб» стал первым в мире химическим источником тока (до этого единственными источниками электричества были машины, вырабатывавшие статическое электричество за счет трения). В этом источнике происходило непосредственное преобразование химической энергии в электрическую.

В последующие два десятилетия было осуществлено электролитическое разложение воды на водород и кислород, а также электроосаждение металлов из растворов. Путем электролиза расплавленных солей выдающийся английский ученый Х. Дэви выделил в чистом виде щелочные металлы, в том числе и литий. С помощью химических источников тока был сделан ряд важнейших физических открытий, включая явление магнитного действия электрического тока (Ампер, 1820), закон пропорциональности тока и напряжения (Ом, 1827), тепловыделение при прохождении тока (Джоуль, 1843), электромагнитную индукцию (Фарадей, 1831). А русский ученый Б. Якоби, еще в 1834 г. сконструировавший первый электродвигатель, спустя четыре года создал важнейшее практическое приложение электрохимии – гальванопластику



По мере развития технологий химические источники и аккумуляторы электрической энергии становятся легче и компактнее. По: (Hübler, Osuagwu, 2009)

мощность. ЛИА выдерживает очень высокие токи разряда, что важно для использования в мощных переносных электроинструментах. Саморазряд составляет всего 2–5 %, а количество циклов «заряда – разряда» без потери емкости у них в 4–6 раз выше, чем у предшественников. ЛИА в меньшей степени подвержены и так называемому эффекту памяти – их можно начать перезаряжать в любой момент, не дожидаясь полной разрядки.

Но у ЛИА есть и недостатки, прежде всего – высокий риск взрывного разрушения при перезаряде или перегреве. Поэтому во все бытовые аккумуляторы встраивают электронную схему, которая ограничивает напряжение заряда. Кроме того, ЛИА полностью выводятся из строя в результате глубокой разрядки, да и вообще эти аккумуляторы пока еще довольно дороги.

Однако следует заметить, что литий-ионные технологии находятся только в начале пути, в то время как их «конкуренты» вплотную приблизились к своему теоретическому пределу. Будучи уже внедренными в промышленное производство, ЛИА до сих пор являются предметом интенсивного изучения, направленного на улучшение их электрохимических характеристик. Совершенствованию подвергаются все три компонента системы: электролит, катод и анод.

### От анода до катода

Основными требованиями к электродным материалам, от которых зависит энергоемкость системы, в случае ЛИА являются способность к обратимой интеркаляции\* ионов лития; смешанная электронно-

Любой химический источник тока состоит из двух электродов (катада и анода), контактирующих с электролитом. Между электродами устанавливается разность потенциалов – электродвижущая сила, соответствующая свободной энергии окислительно-восстановительной реакции. При включении аккумулятора во внешнюю электрическую цепь в ней возникает электрический ток. Действие химических источников тока основано на протекании при замкнутой внешней цепи пространственно-разделенных процессов: на катоде восстановитель окисляется, образуя свободные электроны, создавая разрядный ток, переходят по внешней цепи к аноду, где они участвуют в реакции восстановления окислителя

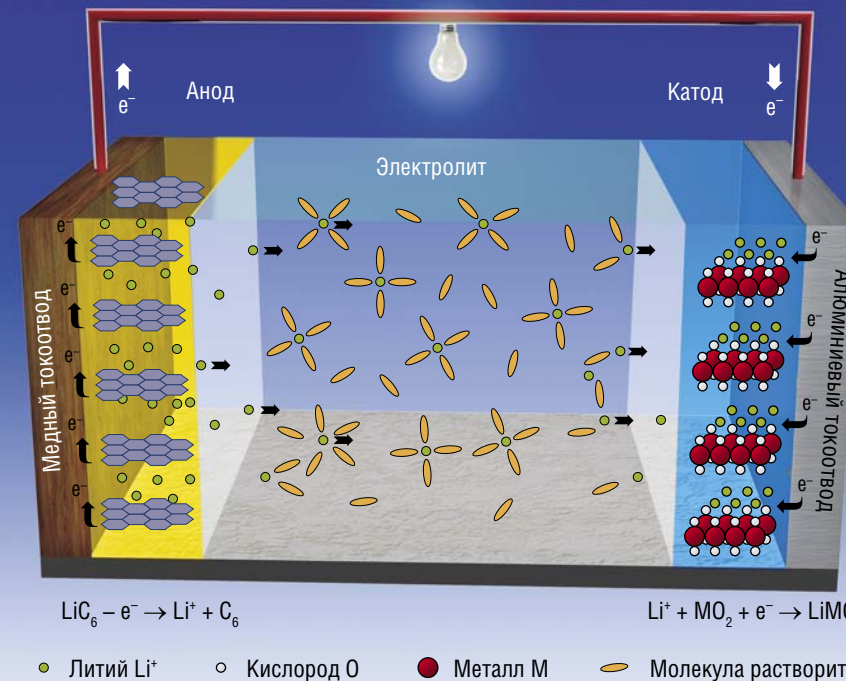
ионная проводимость, обеспечивающая достаточную скорость интеркаляции; химическая устойчивость при циклировании.

Аноды современных ЛИА в основном изготавливают из графита, а катода – из литированных оксидов переходных металлов. В 1979 г. Джон Гуденаф (University of Texas, Austin, США) впервые продемонстрировал электрохимическую ячейку с напряжением 4 В, в которой в качестве катода был использован кобальтат лития (LiCoO<sub>2</sub>), а в качестве анода – металлический литий. Это было наиболее значимым событием и сделало создание ЛИА реальностью. Прототип электрохимической ячейки с углеродным анодом и катодом из кобальтата лития был создан в 1985 г. японцем А. Йошино (Ashi Kasei Corp.), а через шесть лет японская компания Sony выпустила первые коммерческие ЛИА с углеродным анодом.

В наши дни для анодов в исследовательской практике применяют разнообразные углеродные материалы, а в промышленности – только некоторые специальные, такие как «мезоуглеродные мезобусы» (МСМВ) – продукт карбонизации пековых смол, выпускаемый японской компанией Osaka Gas Co.

В конце прошлого века внимание исследователей привлекли также материалы на основе оксида олова. При использовании их в качестве анода литий внедряется не собственно в оксид, а в металлическое олово, образующееся при первоначальной катодной поляризации электрода. Теоретическая емкость аккумулятора с таким анодом почти вдвое выше, чем с углеродным, однако недостатком всех металлических анодов явля-

\* Электрохимическая интеркаляция – обратимое внедрение ионов или молекул в вещества со слоистой, туннельной или канальной структурой, происходящее под действием электрического тока



Отрицательные электроды (аноды) современных ЛИА изготавливают из графита, а положительные электроды (катода) – из литированных оксидов переходных металлов (например, LiCoO<sub>2</sub>). В процессе заряда ионы Li<sup>+</sup> экстрагируются из материала катода, переносятся через электролит к аноду и внедряются в его структуру. Процесс экстракции Li<sup>+</sup> из катода сопровождается одновременным окислением ионов металла M. При разрядке процесс идет в обратном направлении, поэтому аккумуляторы такого типа первоначально назывались «кресло-качалка». По: (Goodenough et al., 2007)

ется заметное изменение их объема при внедрении лития. Проблему удалось решить благодаря применению кремния, из которого стали изготавливать аноды в виде тонких аморфных пленок или наноструктурированных композитов с углеродом.

Сегодня емкость ЛИА лимитируется в основном свойствами катодных материалов. В качестве последних используют различные по структуре соединения. Наиболее широкое распространение получил упомянутый выше кобальтат лития LiCoO<sub>2</sub>: его слоистая структура обеспечивает двумерную диффузию ионов лития. Преимуществами этой системы являются высокое рабочее напряжение (4 В), относительная простота синтеза, высокая электронно-ионная проводимость, что способствует циклированию при больших плотностях тока, и т. д.

Однако у LiCoO<sub>2</sub> имеется и немало недостатков: токсичность, невысокая практическая удельная емкость (около половины от теоретической), недостаточная термическая и структурная устойчивость и др. К тому же кобальтовое сырье довольно дорого.

В последние годы стали использоваться и другие соединения со слоистой структурой, содержащие ионы нескольких переходных металлов (кобальта, никеля, марганца), практическая емкость которых в полтора раза превосходит емкость кобальтата лития.

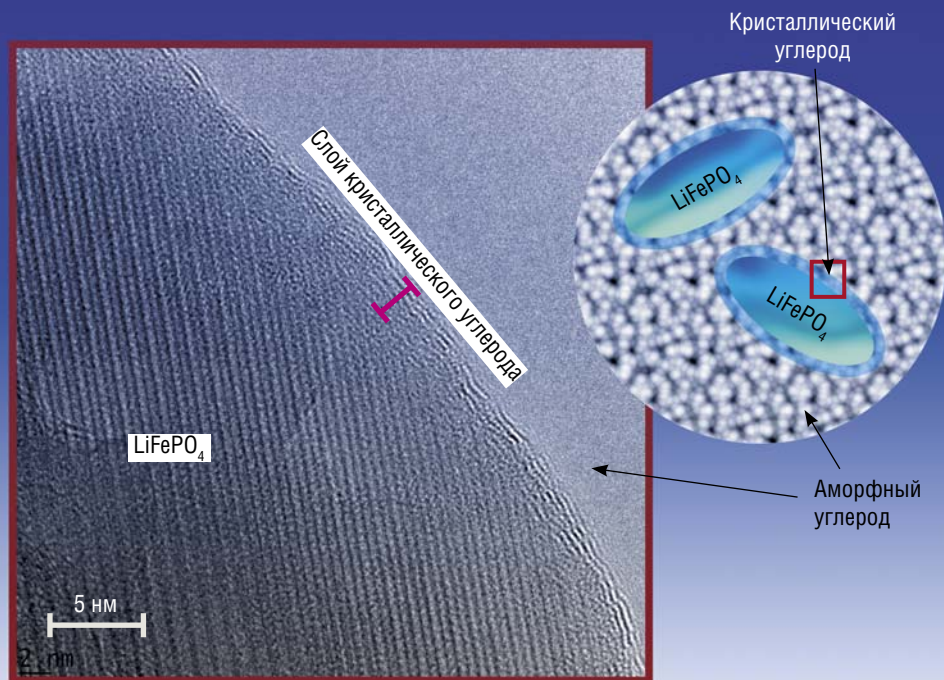
Следующий класс катодных материалов для ЛИА составляют оксиды со шпинельной структурой\*, основным представителем которых является литий-марганцевая шпинель LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. В отличие от слоистой, шпинельная структура обеспечивает трехмерную

диффузию ионов лития. Однако свободный объем, доступный для ионов лития, невелик, что ограничивает скорость диффузии и снижает мощность электрохимической ячейки в целом. Недостатками LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> являются также заметная растворимость марганца в электролите и структурная неустойчивость при напряжениях ниже 3 В.

В последние годы большое внимание уделяется исследованиям катодных материалов с каркасной структурой на основе соединений лития и переходных металлов (Fe, Mn, Co, Ni) с полианионами, такими как (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup>, (AsO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> и др. Фаворит в данной группе – железофосфат лития LiFePO<sub>4</sub>, характеризующийся высоким разрядным напряжением (3,4 В по отношению к Li/Li<sup>+</sup>), наличием плато на зарядно-разрядных кривых и высокой теоретической разрядной емкостью ~ 170 мА·ч·г<sup>-1</sup>. LiFePO<sub>4</sub> отличается высокой структурной и химической устойчивостью при циклировании, а также нетоксичностью и доступностью. Однако у него очень низкая электронная и литий-ионная проводимость и, как следствие, неудовлетворительная циклируемость при больших токах.

Однако в ходе многочисленных исследований были разработаны разнообразные методы для улучшения свойств LiFePO<sub>4</sub>. Например, нанести на поверхность частиц слой высокопроводящего углеродного покрытия,

\* Плотная упакованная кубическая структура, элементарная ячейка которой содержит восемь «молекул» типа AB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. В ней имеется два вида пустот, окружение которых состоит из четырех или шести ионов кислорода



В созданном в ИХТТМ СО РАН композиционном катодном материале для ЛИА наночастицы железо-фосфата лития  $\text{LiFePO}_4$  покрыты слоем высокопроводящего кристаллического углерода. В результате композит имеет намного более высокую электропроводность, чем «чистый» железо-фосфат микронных размеров. Просвечивающая электронная микроскопия

в результате чего электронная проводимость материала может возрасти многократно (Ravet, Armand, 1999). Этому же способствует, например, и допирование материала катода алюминием, цирконием и другими металлами (Chiang, 2002).

### Время российского «нано»?

В 2000 г. японский исследователь А. Ямато (*Sony*) первым показал, что в наноразмерном состоянии железофосфат лития способен работать даже при высоких скоростях заряда-разряда. На сегодняшний день наноразмерные композиты железо-фосфата лития и углерода практически не уступают по электрохимическим показателям другим известным катодным материалам. Поэтому они являются перспективными для использования в гибридных энергетических системах и крупногабаритных аккумуляторах для электромобилей, где большое значение имеют цена и безопасность.

С чем же связано улучшение мощностных характеристик электродных материалов, особенно с низкой электронно-ионной проводимостью, при повышении их дисперсности?

Уменьшение размеров частиц до наноуровня увеличивает поверхность контакта электрод/электролит и способствует уменьшению диффузионных расстояний для ионов лития в твердой фазе. Это приводит к ускорению ионного транспорта и, соответственно, процессов заряда-разряда в аккумуляторах. Меньшие по размеру частицы также лучше адаптируются к объемным изменениям в ходе внедрения и экстракции ионов лития, что способствует повышению структурной стабильности

материалов. С увеличением дисперсности наблюдается и повышение электрохимической емкости.

Одним из перспективных методов получения наноматериалов является так называемая *механическая активация*\*. Именно такой простой, быстрый, энергосберегающий и экологически чистый твердофазный метод разработали в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН (Новосибирск) для получения наноразмерного (< 50 нм) катодного материала на основе композита железо-фосфата лития  $\text{LiFePO}_4$  с углеродом. Особенность этого способа в том, что синтез наночастиц  $\text{LiFePO}_4$  из исходных реагентов идет параллельно с модифицированием поверхности этих частиц углеродом. В результате образовавшийся композит приобретает высокую проводимость и удельную разрядную емкость (~160  $\text{mA} \cdot \text{ч} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

Этот метод лег в основу проекта ОАО «Роснано» по созданию первого в России производства катодного материала на базе ОАО «Новосибирский завод химконцентратов». Этот материал будет поставляться по программе импортозамещения в компанию «Литотех» – совместное предприятие «Роснано» и китайской компании *Thunder Sky Group*, одного из мировых лидеров в серийном производстве аккумуляторов для электротранспорта. В 2011 г. компания «Литотех» за-

\* Механическая обработка твердых тел, в результате которой происходит измельчение и пластическая деформация веществ. При этом ускоряются процессы массопереноса и происходит эффективное смешение компонентов на атомном уровне, что обеспечивает ускорение химического взаимодействия

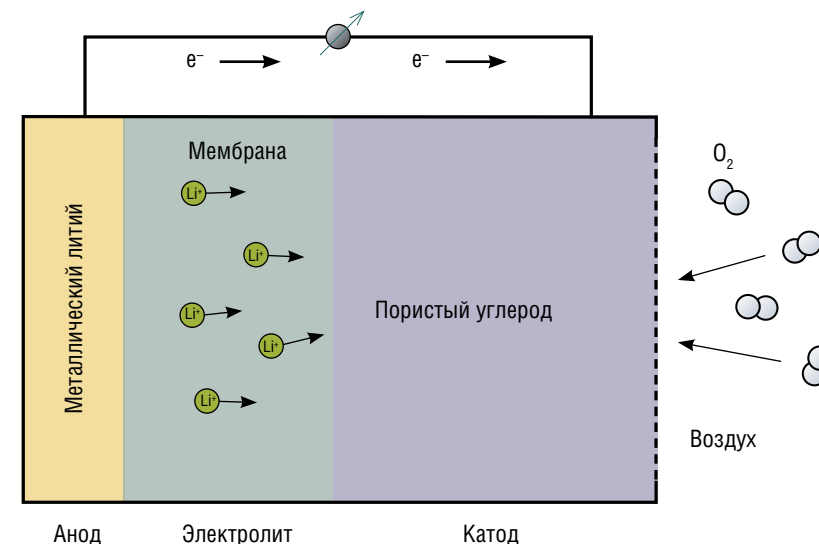
пустила в Новосибирске первый в России и крупнейший в мире завод по производству литий-ионных аккумуляторов.

В сфере литий-ионных аккумуляторов все происходит на удивление быстро. Так, кобальт лития был предложен в качестве катодного материала в 1986 г., а уже в начале 1990-х гг. на его основе стали производить первые ЛИА.

Синтезировать железо-фосфат лития сложнее, к тому же он выходил на уже имеющийся рынок, однако в данном случае от идеи до внедрения прошло не более десятилетия. И сразу же после этого многие автомобилестроительные компании, такие как *Toyota, Renault, General Motors, Nissan* и др., объявили о запуске проектов по производству электромобилей.

Сейчас разрабатываются новые виды литиевых аккумуляторов – литий-серные и литий-воздушные. При использовании кислорода воздуха в качестве катода плотность аккумулярования энергии может увеличиться в 5–10 раз! Рекордные значения удельной энергии и емкости, характерные для литий-воздушных аккумуляторов, а также низкая стоимость реагентов объясняют большой практический и экономический интерес к этой теме. В последние годы в США на эти исследования тратятся миллиарды долларов, в России же это направление только начинает развиваться.

Но самый удивительный вклад в разработку ЛИА собираются внести... биологи. Ученые из Массачусетского технологического института показали, что с помощью генетически модифицированных бактериофагов – вирусов, инфицирующих бактерии и безвредных для человека, – можно наладить процесс самосборки рабочих электродов литиевого аккумулятора. Сначала бактериофаги покрывают свою оболочку аморфным фосфа-



Аккумуляторы будущего смогут работать на бесплатном кислороде из воздуха. В таких литий-воздушных устройствах положительный электрод отсутствует как таковой – можно считать, что катодом является воздух. В качестве анода используют тонкую литиевую фольгу, которая отделяется от катода полимерной мембраной из литий-проводящего твердого электролита. Затем следует слой углерода с высокой площадью поверхности, в котором происходит восстановление кислорода, поступающего из атмосферы. Токообразующей реакцией является прямое взаимодействие лития с кислородом воздуха:  $2\text{Li} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{O}_2$

том железа, способным обратимо принимать и отдавать ионы лития, а затем селективно присоединяются к углеродным нанотрубкам, обладающим высокой электропроводностью (Belcher, 2010).

Аккумулятор, собранный на основе таких «вирусных» электродов с разветвленной структурой, продемонстрировал мощность и емкость на уровне самых современных аккумуляторов, а также стабильную работу как минимум при 100 циклах перезарядки. Производство такого литиевого аккумулятора обходится значительно дешевле, чем обычного аккумулятора, к тому же оно не требует использования токсичных химических веществ – все процессы идут в водной среде при комнатной температуре. Благодаря процессу самосборки электродам можно придать самую разнообразную форму еще на стадии синтеза, что позволит в будущем встраивать их в различные портативные электронные устройства. И, судя по всему вышесказанному, это будущее должно наступить очень скоро!

#### Литература

Avvakumov E., Senna M., Kosova N. *Soft Mechanochemical Synthesis: A Basis for New Chemical Technologies*// Kluwer Acad. Publ. 2001.  
Kosova N. V., Devyatkina E. T., Petrov S. A. *Fast and low cost synthesis of  $\text{LiFePO}_4$  using  $\text{Fe}^{3+}$  precursor*// J. Electrochem. Soc. 2010. Vol. 157, No. 11. P. 1247–1252.

Л. Г. БУЛУШЕВА, А. В. ОКОТРУБ, С. В. ЛАРИОНОВ

# НАНОТРУБКА,

# зажгись!

Принципиальная схема традиционного электрического светильника включает в себя излучающий элемент, к которому присоединены два провода, подводящие электрический ток. Сибирские ученые на основе углеродных нанотрубок создали гибридный наноматериал, для люминесцентного свечения которого достаточно одного электрического контакта. Эффективность и экономичность устройства от этого только увеличилась

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, сульфид кадмия, гибридный наноматериал, электролюминесценция.  
**Key words:** nanotubes, cadmium sulfide, hybrid nanomaterial, electroluminescence



БУЛУШЕВА Любовь Геннадьевна – доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Института неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 126 научных публикаций и 5 патентов

ОКОТРУБ Александр Владимирович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физикохимии наноматериалов Института неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 250 научных публикаций и 9 патентов

ЛАРИОНОВ Станислав Васильевич – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории синтеза комплексных соединений Института неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 440 научных публикаций и 13 патентов

Сегодня используется множество люминесцентных устройств, эффективно преобразующих электрическую энергию в оптическое излучение. Такие устройства широко применяются не только в осветительных приборах, но и в средствах отображения видеoinформации: рекламных панелях, экранах телевизоров, дисплеях компьютеров и мобильных телефонов, без которых немислима жизнь современного человечества. Поэтому задачи повышения качества изображения – улучшение цветопередачи и увеличение разрешающей способности – являются как нельзя более актуальными.

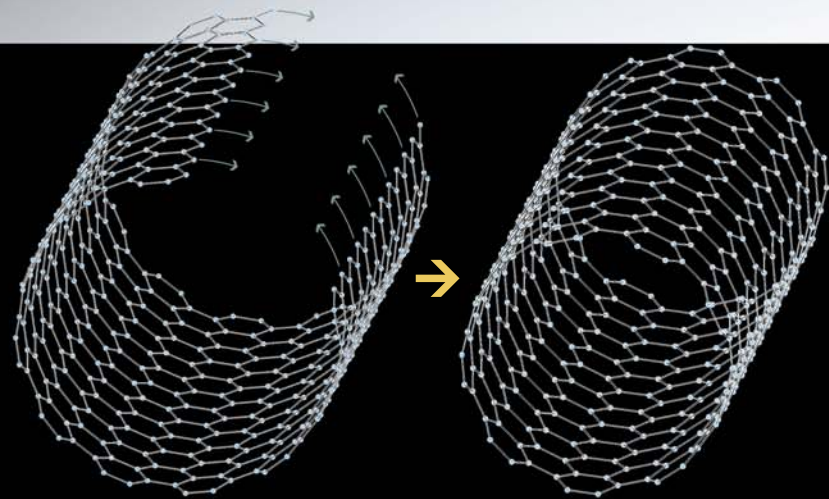
Один из возможных путей их решения – создание наноразмерных светоизлучающих структур. В Институте неорганической химии (ИНХ) СО РАН (Новосибирск) сегодня разрабатываются прототипы люминесцентных устройств на базе так называемых гибридных материалов из углеродных нанотрубок и полупроводниковых наночастиц. Нужно отметить, что создание материалов, сочетающих свойства составляющих их компонентов, является одним из интереснейших направлений современной химии. Связи между компонентами могут быть весьма разнообразными (ковалентные, вандерваальсовы, ионные и пр.), что позволяет варьировать физические характеристики гибридных структур в очень широких пределах.

## Растим наногибриды

Углеродные нанотрубки представляют собой длинные полые цилиндры из изогнутых графеновых слоев. Интерес к ним как объекту наноэлектроники появился более 20 лет назад (Iijima, 1991), а за последние годы были разработаны сотни методик синтеза, позволяющие получать трубки с различными параметрами структуры – длиной, диаметром, толщиной стенок, дефектностью и т. п.

Одним из специфических свойств углеродных нанотрубок является испускание электронов при сравнительно низких напряженностях приложенного электрического поля (*полевая эмиссия*). Этому явлению способствует большое отношение длины трубки к ее диаметру, которое может достигать  $10^4$ . Поскольку вблизи конца нанотрубки электрическое поле усиливается, выход электронов в вакуум может происходить при напряженности приложенного поля 1 В/мкм и менее (Bonard *et al.*, 2001), хотя для эмиссии из традиционных электропроводящих материалов нужно приложить напряжение на 2–3 порядка больше.

Таким образом, через углеродные нанотрубки можно пропускать электрический ток, не подводя механически второго контакта, что может существенно повысить эффективность их использования в качестве



Углеродная нанотрубка в идеале может быть представлена в виде цилиндра, полученного сворачиванием графитовой (или графеновой) полоски. Диаметр цилиндра обычно порядка нескольких десятков нанометров, в то время как его длина может быть более 10 мкм. Поверхность этого цилиндра представляет собой сетку из шестиугольных ячеек, образованных атомами углерода. Торцы цилиндра могут быть открытыми – или же закрыты полусферическими или полиэдрическими головками

полевого катода световых панелей (Елецкий, 2002). При этом рабочие напряжения катодов из таких трубок могут быть в десятки раз меньше, чем в обычных молибденовых или кремниевых автоэмиссионных катодах.

Кривизна поверхности нанотрубок обуславливает ее повышенную реакционную активность по сравнению с плоским графитовым листом, что открывает возможность их химической модификации с целью получения новых наноматериалов. Например, трубки могут быть использованы в качестве носителя для инородных полупроводниковых наночастиц (Eder, 2010). Последние два десятилетия подобные частицы называют *квантовыми точками*, подчеркивая этим зависимость их оптических и электронных свойств от размера. Поскольку характеристики квантовых точек можно «настраивать», варьируя размер самой частицы, их можно использовать для создания различных оптоэлектронных устройств – солнечных батарей, светоизлучающих приборов, оптических детекторов и т. д. (Nann & Skinner, 2011).

Обычно квантовые точки выращивают методами растворной химии, а затем распределяют в полимерной пленке, которую и помещают на катод. Основными проблемами при использовании такого полимера являются невысокая степень диспергирования квантовых точек и электрическое взаимодействие между ними, а также электрический контакт между пленкой и катодом. Все эти проблемы можно в значительной степени решить, если в качестве катода использовать проводящую подложку с массивом углеродных нанотрубок, на концах которых будут сформированы квантовые точки. В этом случае нанотрубка, сама являющаяся хорошим проводником, обеспечит подвод электронов к полупроводниковой наночастице.

В настоящее время в качестве потенциальных квантовых точек наиболее активно изучаются халькогениды

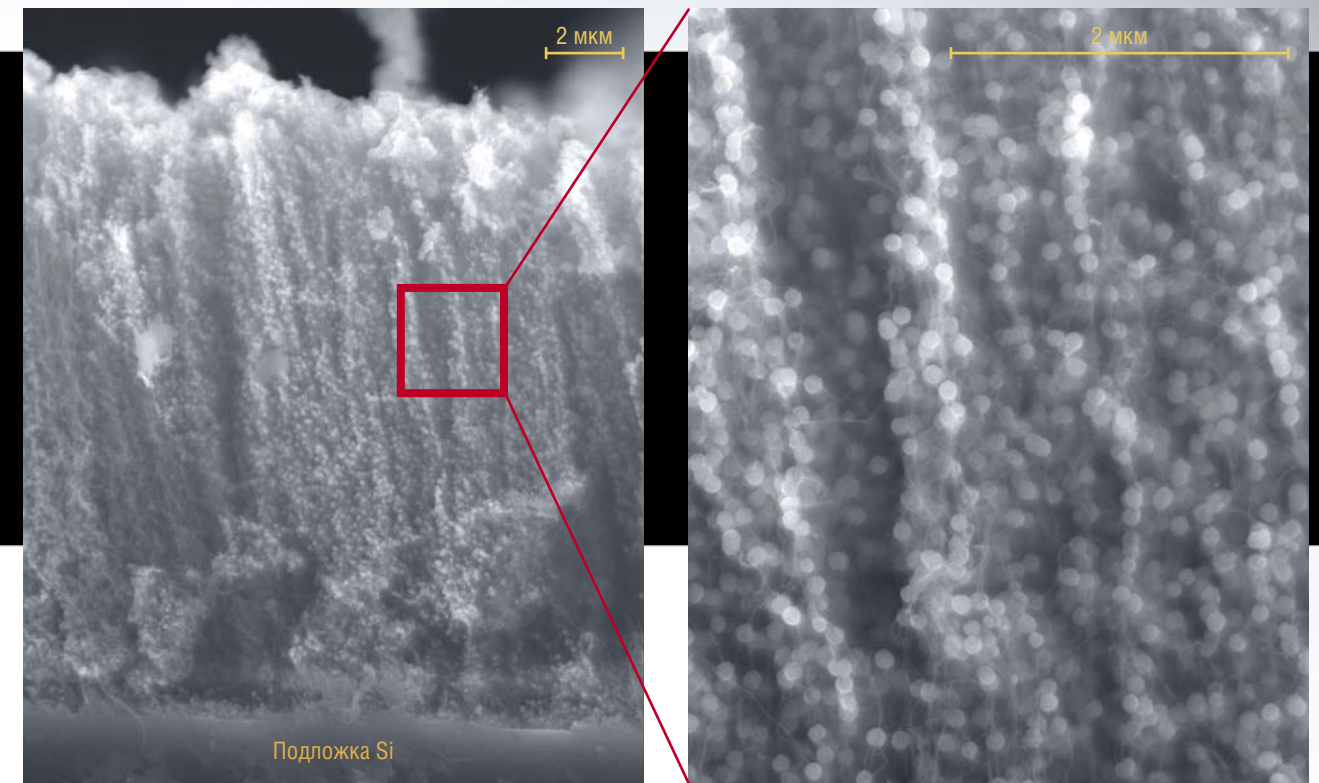
кадмия (CdTe, CdSe, CdS), нанокристаллы которых излучают фотоны при облучении или под действием электрического поля. Так, в ИНХ была разработана методика формирования наночастиц сульфида кадмия на поверхности углеродных нанотрубок.

Подобные работы начались за рубежом уже несколько лет назад: например, в США и в Китае разработаны гибридные материалы из нанотрубок и полупроводниковых частиц для использования в элементах солнечных батарей (Li *et al.*, 2010). Новизна отечественной разработки в том, что полученный гибридный материал обладает электролюминесцентными свойствами, поэтому он может быть использован, например, в осветительных приборах.

### Полезные дефекты

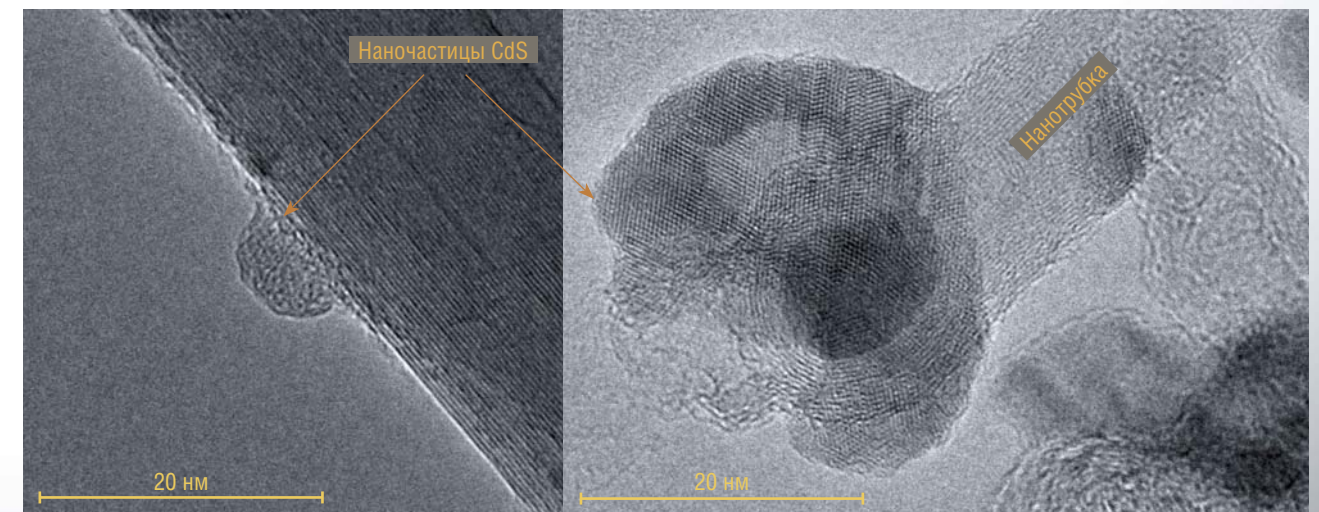
Гибридные материалы «квантовые точки CdS-углеродные нанотрубки» можно получить двумя традиционными способами. Например, «пришить» к нанотрубкам через функциональные группы уже сформированные полупроводниковые наночастицы. Другой способ заключается в создании на поверхности нанотрубки «зародыша», из которого и вырастет наночастица. Оба эти метода включают процедуру химической модификации углеродной поверхности.

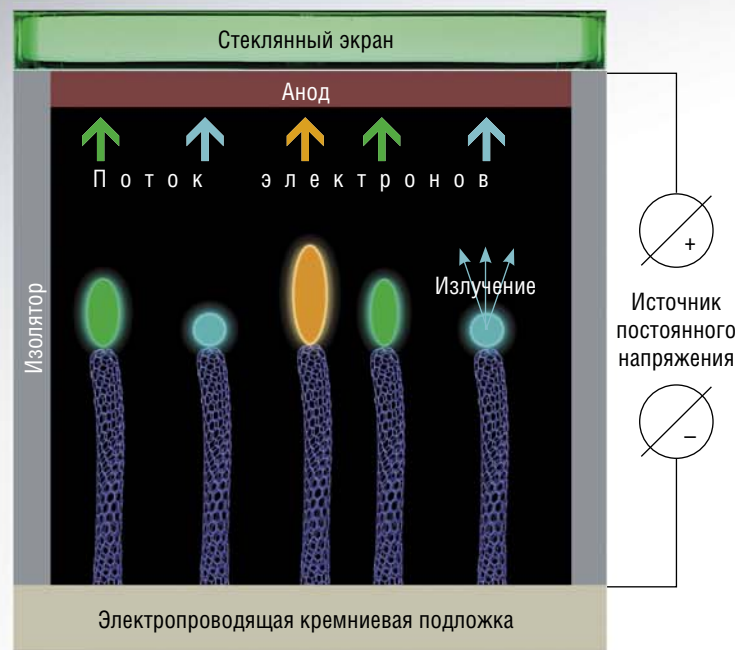
Однако модификации поверхности не потребуется, если для создания гибридных материалов использовать массив нанотрубок, выращенных на кремниевых подложках по разработанной в институте методике. В ходе каталитического разложения углеводородных паров при температуре около 900 °С поверхность нанотрубок сразу приобретает необходимые свойства: на ней формируются топологические дефекты (углеродные кольца, отличные от шестиугольных) и вакансии (отсутствие одного или нескольких атомов в кристаллической решетке).



Так выглядит массив углеродных нанотрубок, ориентированных перпендикулярно кремниевой подложке, на которых в течение 8 мин при 60 °С осаждались наночастицы CdS. Последние имеют почти одинаковые размеры и нанизаны на трубки подобно бусинам. *Растровая электронная микроскопия*

Эта частица сульфида кадмия размером 8 нм сформировалась на боковой поверхности углеродной нанотрубки всего за одну минуту при комнатной температуре. *Справа* – наночастица CdS, обволакивающая конец углеродной нанотрубки. *Просвечивающая электронная микроскопия*





Принцип работы полевого катода на основе гибридного полупроводникового материала: на кремниевую подложку с массивом из углеродных нанотрубок подается напряжение, в результате между катодом и анодом возникает эмиссионный ток электронов, вызывающих свечение наночастиц CdS на концах трубок. Излучение наблюдается через прозрачный анод и может быть зафиксировано с помощью фотокамеры

● ● ● Квантовые точки CdS  
 [ ] Углеродная нанотрубка

Кроме того, очень часто морфология полученных этим методом нанотрубок отличается от правильной цилиндрической. Графитовые слои могут быть ориентированы под углом к оси нанотрубки, формируя структуру из конусов, вложенных друг в друга. Атомы углерода на краях такой структуры обладают намного большей реакционной способностью по сравнению с атомами идеальной графитовой поверхности.

Для промышленного синтеза сульфида кадмия обычно используется токсичный сероводород или сульфид натрия. Однако эти реагенты можно заменить на доступные малотоксичные соединения, способные выступать в качестве поставщика атома серы. Так, еще полвека назад в ИНХ СО РАН был разработан метод получения пленок CdS из тиомочевины и хлорида кадмия. Этот метод в модификации и был использован для создания наногибридных фотолюминесцентных материалов (Кудашов и др., 2010).

Исследование полученных образцов показало, что в реакционном растворе на концах и на боковой поверхности углеродных нанотрубок формируются округлые наночастицы CdS, при этом целостность массива и ориентация трубок сохраняются. Эксперименты показали, что размер наночастиц можно варьировать, меняя температуру реакционной смеси и длительность пребывания нанотрубок в растворе.

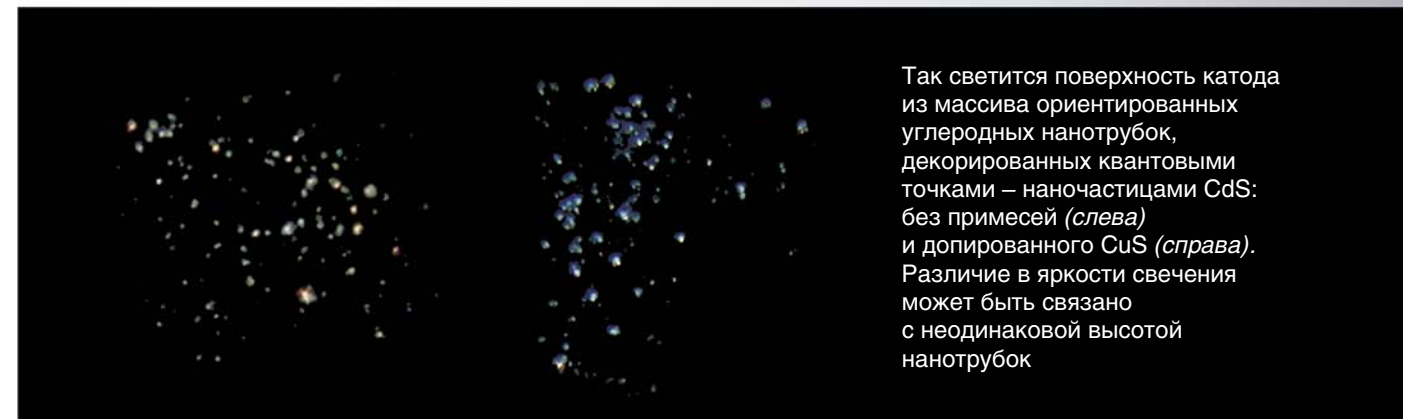
При невысоких температурах синтеза на поверхности катода формируются довольно однородные квантовые точки. Так, наночастицы, выросшие за 5 минут из раствора, нагретого до 60 °С, имели сферическую форму, узкий диапазон размеров (150–200 нм) и были «нанизаны» на нанотрубки словно бусины. Последнее ука-

зывает на то, что зародышеобразование и рост частицы CdS происходит непосредственно на поверхности углеродной нанотрубки. Понижение температуры реакции до 30 °С и сокращение времени осаждения до одной минуты привело к уменьшению среднего размера наночастиц до 20–30 нм.

Более того, оказалось, что поверхность «конических» нанотрубок является настолько активной, что осаждение наночастиц CdS происходит даже при комнатной температуре. Справедливости ради следует отметить, что в таких условиях наночастицы вырастают редко и, по-видимому, только на наиболее дефектных участках поверхности, таких как концы нанотрубок. Но ведь именно эти концевые наночастицы и будут обеспечивать наиболее эффективное свечение под действием электрического поля!

### Светят как звезды

С помощью метода контролируемого осаждения сульфида кадмия новосибирским химикам удалось получить катод из массива углеродных нанотрубок, на концах которых зафиксировано по наночастице CdS. При подаче напряжения на проводящую подложку по нанотрубкам течет электрический ток, при этом на квантовых точках на концах нанотрубок создается высокая напряженность электрического поля, под действием которого электроны в них возбуждаются. Время существования возбужденной системы – около  $10^{-10}$  секунд, после чего электрон возвращается в исходное состояние. Этот переход сопровождается испусканием фотона – происходит электролюминесценция.



Так светится поверхность катода из массива ориентированных углеродных нанотрубок, декорированных квантовыми точками – наночастицами CdS: без примесей (слева) и допированного CuS (справа). Различие в яркости свечения может быть связано с неодинаковой высотой нанотрубок

Изображения светящегося катода подобны снимкам звездного неба, только цвет этих «звезд» преимущественно зеленый с редким включением оранжевого. Преобладание зеленых точек указывает на то, что сформировавшиеся на концах нанотрубок частицы CdS имеют кристаллическую структуру, близкую к совершенной. Оранжевое или красное свечение обычно относят к поверхностным состояниям с нарушенным упорядочением атомов (Таппо, 1998).

Если зеленая и красная палитра являются обычными для люминесценции сульфида кадмия, то синий цвет получить очень трудно. Пока имеется единственное сообщение о получении синей эмиссии CdS-нанокристаллов в результате комбинации нескольких электронных переходов (Zhang, 2007). При этом для смешивания исходных цветов в нужной пропорции кристаллы подвергались дополнительной многочасовой обработке.

Синее свечение CdS также получается и в том случае, если в наночастице будут существовать одновременно области как с «идеальным» расположением атомов в кристаллической решетке, так и с нарушенным. Такого рода «беспорядок» может быть достигнут при внедрении в решетку небольшого количества атомов другого металла.

В качестве такого «гостя» была выбрана медь, поскольку было известно, что добавление солей  $\text{Cu}^{2+}$  в реакционную смесь, используемую для роста пленок, приводит к структурной деформации кристаллической решетки CdS (Petre, 1999). И действительно, проделанные в ИНХ эксперименты показали, что квантовые точки, полученные добавкой в реакционный раствор небольшого количества ( $10^{-4}$  моль/л) хлорида меди, светятся в основном голубым цветом.

Поскольку цвет светящейся квантовой точки можно изменять в зависимости от условий реакции, это позволяет в принципе получить люминесцирующие элементы широкой цветовой гаммы. Такие элементы будут очень востребованы для создания источников света большой площади с малым потреблением электроэнергии. Высокая плотность тока позволит получить и источники света малого размера, но очень высокой яркости.

Если углеродные нанотрубки выращивать не на электропроводящей подложке, а на специальной плате, то можно организовать быстрый подвод электрической энергии к любой индивидуальной полупроводниковой наночастице через связанную с ней нанотрубку. Разрешающая способность дисплея на основе таких «наносхем» должна быть на порядок лучше существующих устройств.

*Литература*  
 Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства // *Успехи физических наук*. 2002. Т. 172. С. 401–438.

Кудашов А.Г. и др. Синтез гибридного материала из наночастиц CdS и углеродных нанотрубок // *Изв. Акад. наук. Серия химическая*. 2010. Т. 9. С. 1674–1677.

Bonard J.-M. et al. Field emission from carbon nanotubes: the first five years // *Solid-State Electronics*. 2001. Vol. 45. P. 893–914.

Eder D. Carbon nanotube – inorganic hybrids // *Chem. Rev.*, 2010. Vol. 110. P. 1348–1385.

Fregnaux M. et al. Physical and chemical analyses on single-source precursor-grown CdS semiconductor nanomaterials // *J. Phys. Chem. C*. 2010. Vol. 114. P. 17318–17323.

Li X. et al. Solar Cells and Light Sensors Based on Nanoparticle-Grafted Carbon Nanotube Films // *ACS Nano*. 2010. Vol. 4. No. 4. P. 2142–2148.

Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // *Nature*. 1991. Vol. 354. P. 56–58.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №10-03-00696)



Н. П. КОПАНЕВА

## МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ: «Северный океан есть пространное поле, где... усугубиться может российская слава»

К 300-летию М. В. Ломоносова

Одна из самых ярких и драматических страниц истории мореплавания связана с освоением Северного морского пути – кратчайшего расстояния между Европейской частью России и Дальним Востоком. Однако попытки проникнуть в глубь Северного Ледовитого океана и пройти в Тихий океан предпринимались русскими мореплавателями намного ранее. Еще во второй половине XVIII в. первый русский академик М. В. Ломоносов обосновал в одном из своих последних сочинений, ставшем своеобразным завещанием будущим исследователям Арктики, возможность и необходимость «проходу Сибирским океаном в Восточную Индию»

Более ста лет назад, в 1898 г. Императорская Публичная библиотека (ныне Российская национальная библиотека) приобрела рукопись М. В. Ломоносова «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию».

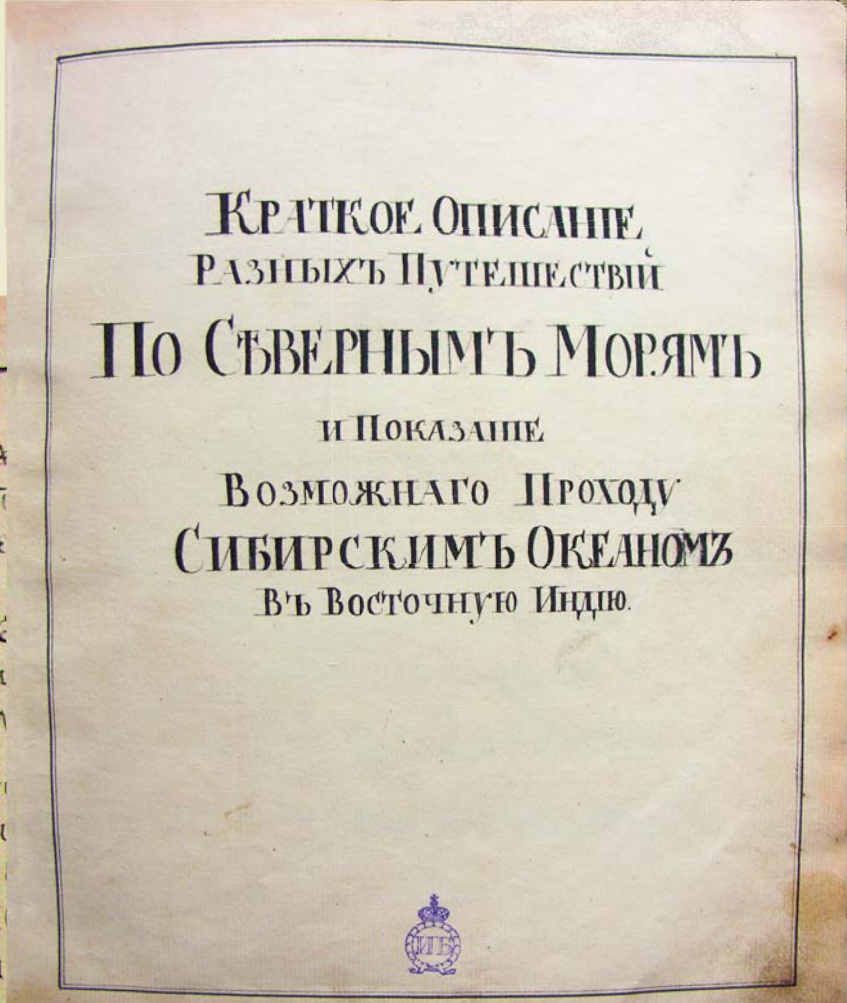
Известно, что свой труд Ломоносов в 1763 г. представил цесаревичу Павлу Петровичу, в свои девять лет бывшему уже генерал-адмиралом Российских флотов, и, конечно же, прежде всего императрице Екатерине II. Основная цель Ломоносова, государственно мыслящего человека, – убедить власть имущих в необходимости поиска и освоения северного морского хода «к восточным народам» – того, что ныне называется Северным морским путем.

Рукопись М. В. Ломоносова «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию», в красном сафьяновом переплете с золотым тиснением. Написана неизвестными почерками двух лиц. На обороте посвящения Великому князю Павлу Петровичу собственноручная подпись ученого; его рукой сделана и незначительная правка на полях.  
Российская национальная библиотека  
(Санкт-Петербург)

**Ключевые слова:** Ломоносов, Северный Ледовитый океан, издание трудов Ломоносова, рукопись Ломоносова.  
**Key words:** Lomonosov, the Arctic Ocean, publishing of Lomonosov's works, Lomonosov's manuscript



КОПАНЕВА Наталья Павловна – кандидат филологических наук, старший научный сотрудник Отдела истории Кунсткамеры и отечественной науки XVIII в. (Музей М. В. Ломоносова) Музея антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН (Санкт-Петербург)



...и показание  
возможного  
проходу  
Сибирским  
океаном  
в Восточную  
Индию.

...ende d'ander twee naect schip gwa  
...neer slozte / d'ander niet werende  
...n hy weder teghen ons volck aen/  
...p rechten hem op zyn pooten / ende



...и показание  
возможного  
проходу  
Сибирским  
океаном  
в Восточную  
Индию.

Вашего Императорского Высочества

Поданнейшей и вернейшей рукой  
Михайло Ломоносовъ

Сентября 20 дн,  
1763 года

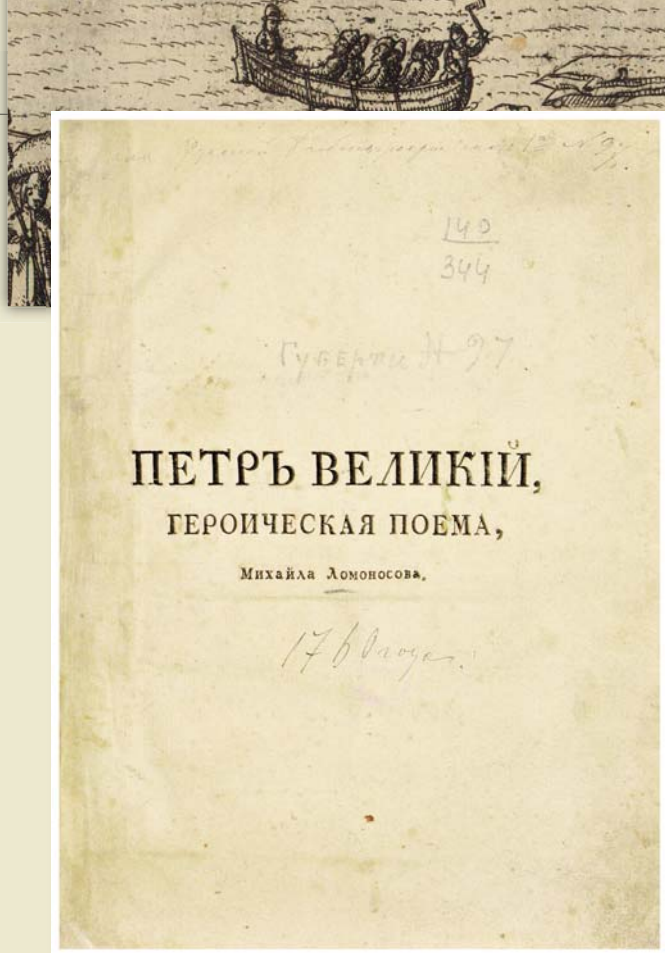
Экспедиция В. Я. Чичагова для отыскания «морского прохода Северным океаном в Камчатку» носила секретный характер: официально было объявлено, что ее цель – возобновление китовых промыслов на о. Шпицберген. Для плавания в полярных широтах в Архангельске были построены три судна с двойной наружной обшивкой, которые получили названия своих командиров: «Чичагов», «Панов» и «Бабаев». Экспедиция отправилась в плавание 9 мая 1765 г., уже после смерти М. В. Ломоносова.

К сожалению, и первая, и вторая попытки экспедиции отыскать северо-восточный проход оказались неудачными. Именем Чичагова назван ряд географических объектов, в том числе острова на Новой Земле и Земле Франца-Иосифа, гора на Шпицбергене, мыс в Южной Полинезии

Задача Ломоносова-ученого показать возможность «мореплавания Сибирским океаном в Ост-Индию», разъяснить, как нужно подготовиться «к мореплаванию Сибирским океаном» и дать практические рекомендации по организации экспедиции по отысканию «северо-восточного прохода».

Позднее Ломоносов сделал два «прибавления» к своей работе: «Прибавление первое. О северном мореплавании на восток по Сибирскому океану», в котором представил подробный план и маршрут плавания, и «Прибавление второе, сочиненное по новым известиям промышленников из островов американских и по выспросу компанейщиков, тобольского купца Ильи Снигирева и вологодского купца Ивана Буренина»\*, снаряжавших экспедицию Степана Глотова на Алеутские острова и Аляску.

Адмиралтейств-коллегия при непосредственном участии М. В. Ломоносова, на основании его разработок и рекомендаций, организовала две секретные экспедиции. Василий Яковлевич Чичагов с тремя кораблями должен был пройти до Шпицбергена, а от него к Берингову проливу; Петр Кузьмич Креницын отправлялся к Алеутским островам для описи и освоения их и северо-западных берегов Америки. Ожидалось даже, что обе экспедиции должны встретиться у Камчатки, и для этой встречи были разработаны особые сигналы для опознавания судов. Известно, что две экспедиции В. Я. Чичагова 1765 и 1766 гг. из-за тяжелых льдов были неудачны. Технические средства тех времен не позволили претворить в жизнь задачи, поставленные Ломоносовым. Материалы экспедиции В. Я. Чичаго-



Титульный лист героической поэмы «Петр Великий» (СПб., 1760), в которой М. В. Ломоносов пишет об арктическом пути:

*Какая похвала Российскому народу  
Судьбой дана – протти покрыту льдами воду.  
Хотя там кажется поставлен плыть предел,  
Но бодрость подают примеры славных дел...  
Сам лед, что кажется толь грозен и ужасен,  
От оных лютых бед даст ход нам безопасен.  
Колумбы Россіе, презрев угрюмый рок,  
Меж льдами новый путь отворят на восток*

По: (Полн. собр. соч., т. 8, с. 703).

Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

ва были опубликованы академиком Г. Ф. Миллером в 1793 г. Поскольку Миллер к тому времени жил уже в Москве, документы посылались ему или в оригиналах для копирования, или в копиях. За восемь лет до издания рукопись Миллера была переведена на русский язык переводчиком Сената И. Пырским, но текст этот опубликован не был.

\* И рукопись, и прибавления к ней опубликованы в 6-м томе Полного собрания сочинений М. В. Ломоносова (М.; Л., 1952) – далее Полн.собр.соч.

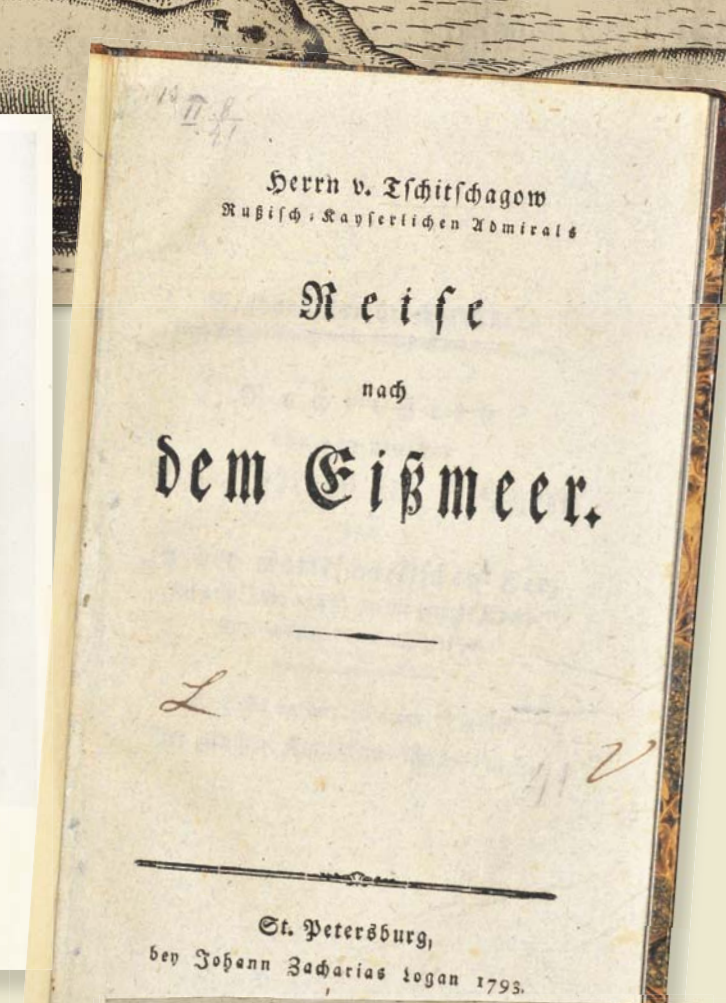


Руководителем экспедиции по поиску северо-восточного прохода в Азию был назначен капитан 1-го ранга В. Я. Чичагов. Худ. П. Ф. Борель. Литография. 1864. Материалы его экспедиции были опубликованы академиком Г. Ф. Миллером (Müller Gerhard Friedrich. Herrn v. Tschitschagow Russisch-Kayserlichen Admirals Reise nach dem Eissmeer. St. Petersburg: Bey Johann Zacharias Logan, 1793). (справа вверху) Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

Генерал-фельдмаршал по флоту граф И. Г. Чернышев был одним из организаторов экспедиций Чичагова и Креницына  
Гравюра резцом И. Фишера.

«Вся обширность северных морских путешествий подвержена единому обозрению»

Рукопись Ломоносова начинается с анализа оснований, на которых строится «доброе состояние» государства. По мнению Ломоносова, оно «от трех источников происходит. Первое – от внутреннего покоя, безопасности и удовольствия подданных, второе – от победоносных действий против неприятеля, с заключением прибыточного и славного мира, третье –



Подписан 1726 года Августа 24 дня за вечером  
Кт. чернышев 1791 апреля 28 числа в Государств. и  
Отечественн. канц. при канц. канц. Канцелии  
и быв. в. морск. и Генерал-Адмиралства 29. листе.



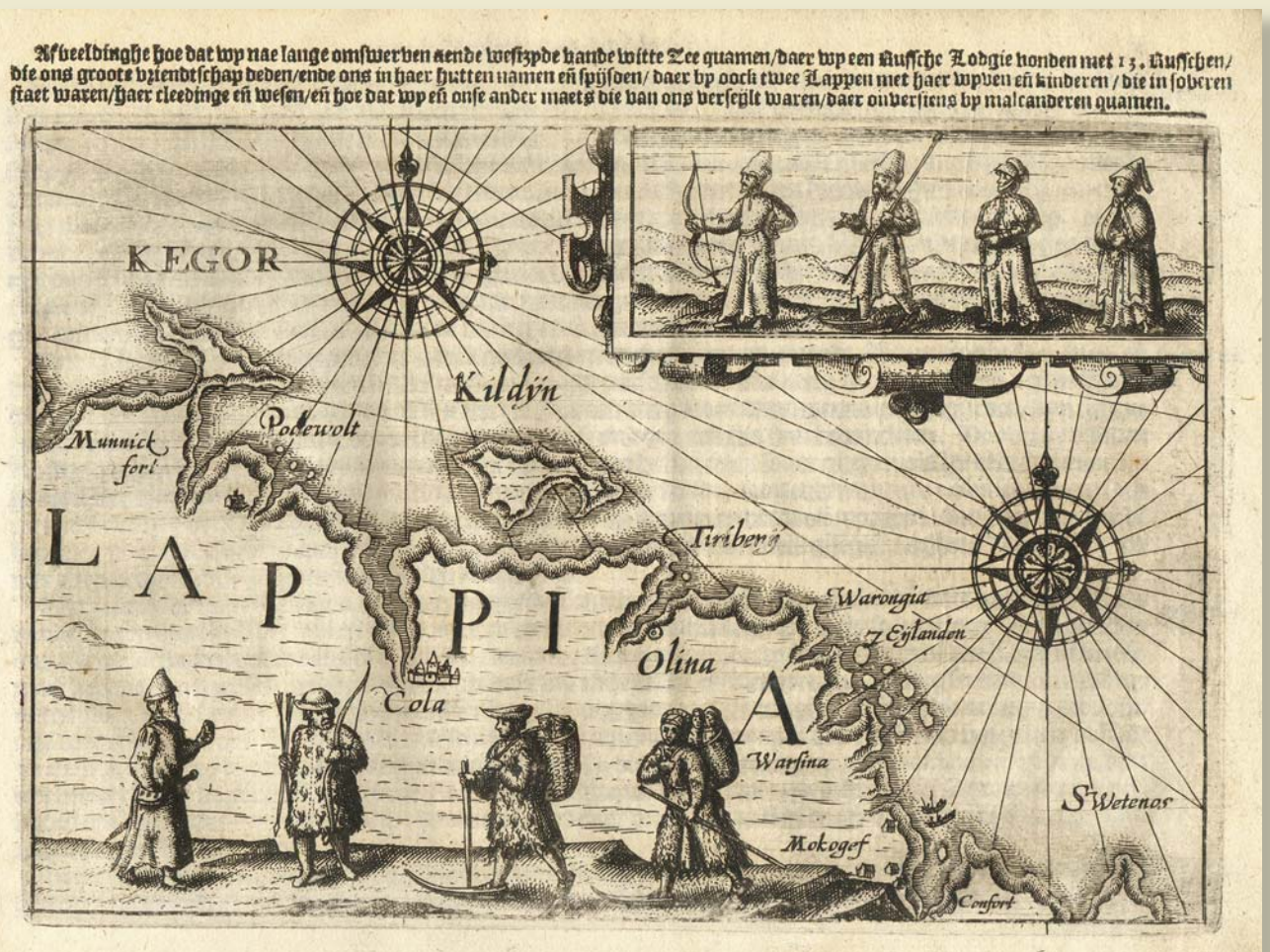




Текст на гравюре с изображением встречи голландских моряков с двумя русскими кораблями гласит, что русские и голландцы сожалели, что не могут говорить друг с другом из-за незнания языка. А между тем это была не первая их встреча: они уже встречались во время плавания в проливе Вайгач. На другой гравюре (внизу) изображено, как голландские моряки добрались до западного берега Белого моря, где им повстречался корабль с русскими людьми, которые приняли голландцев дружелюбно и дали им пищу. Здесь же моряки увидели местных жителей: лапландцев с женами и детьми. По: (Veer Gerrit de, 1598). Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)



Al beeltinghe bande Wal-ruffchen / Zee-monsters also genaemt / seer sterke beesten / die altemer de Wiffchers schuyten om trecken / ende van seil vryje die het volck met haer gehadt hebben / daerder wel 200. opt landt by malcanderen waren / en sloegen alle haer gheweer in stucken / ende conden niet eenen dooden / also datse van meeninge waren met grof geschut haer te comen besoecken: maer moestens druyt onweer datter op quam maelaten.

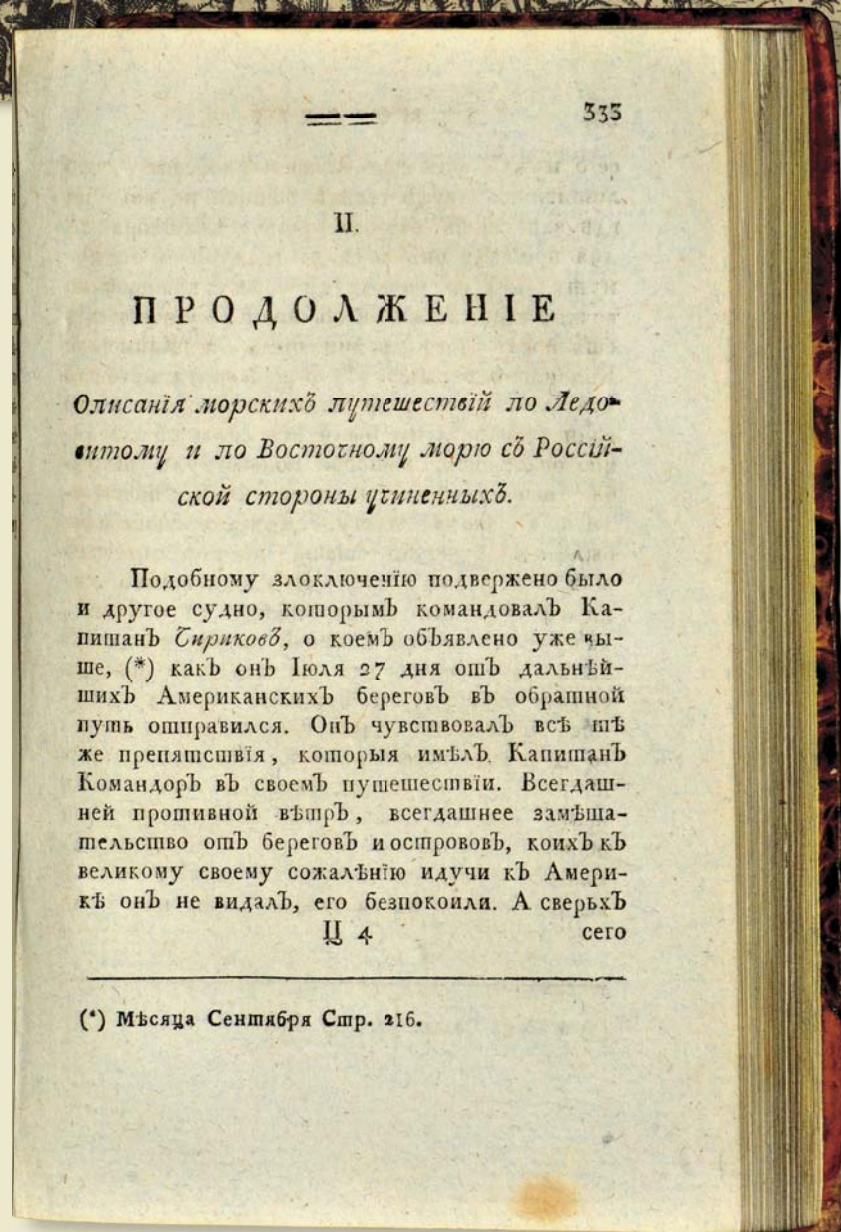


Al beeltinghe hoe dat wy nae lange omswerben kende waerzypde bande witte Zee quamen / daer wy een Russische Lodgie honden met 3. Russchen / die ons groots vrentschap deden / ende ons in haer hutten namen en spijden / daer by oock twee Lappen met haer wyven en kinderen / die in sobren staet waren / haer cleedinge en wesen / en hoe dat wy en onse ander maets die van ons verslept waren / daer onverschens by malcanderen quamen.



Al beeltinghe van die Wyven die onterst het schip quamen / daer van de eenen achter een schots pa bleef leghen / ende d'ander twee naet schip quamen / d'one nam een stuek vleesch op de rotte daer in te verbercken stont / ende waer de midder rijdt gheschoten dat sij vier stote / d'ander niet wetenende verbercken was stont langhe stil ende rooch hem aen / ende liep een liden wese. Daer nae quam sy weder teghen ons volck aen / daer van alsoo beeltingen.

«Много боролись с наглыми белыми медведями», – писал М. В. Ломоносов об опасностях, подстерегавших экспедицию Баренца в Арктике. (Полн. собр. соч., т. 6, с. 446). На гравюрах изображены медведи, нападающие на голландских моряков, и моржи – сильные «чудовища», которые могли опрокинуть лодки промышленников. По: (Veer Gerrit de, 1598). Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)



335

II.

## ПРОДОЛЖЕНИЕ

*Описанія морскихъ путешествій по Ледовитому и по Восточному морю съ Российской стороны учиненныхъ.*

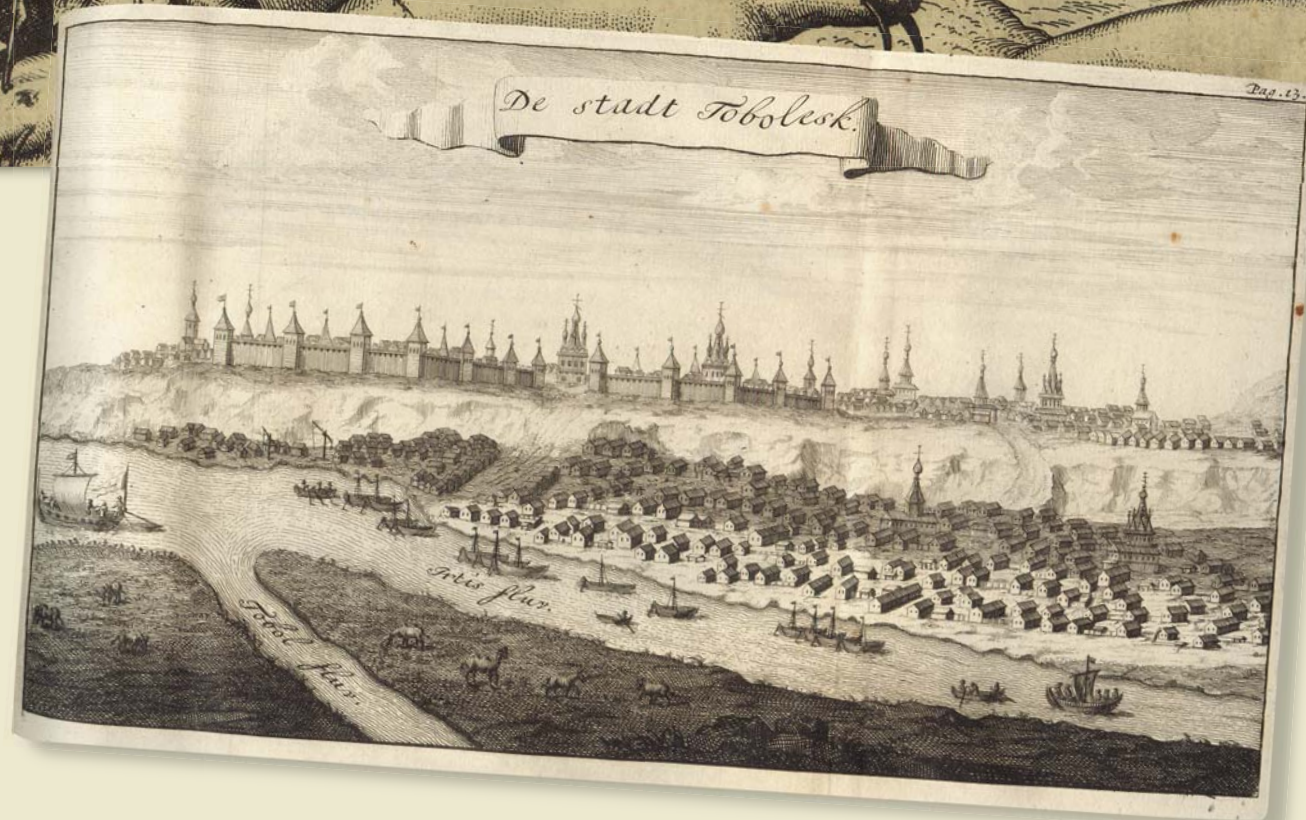
Подобному заключенію подвержено было и другое судно, копорымъ командовалъ Капитанъ *Сириковъ*, о коемъ объявлено уже выше, (\*) какъ онъ Юля 27 дня ошъ дальнѣйшихъ Американскихъ береговъ въ обратный путь ошправился. Онъ чувствовалъ всѣ шѣ же препяшшвія, копорыя имѣлъ Капитанъ Командоръ въ своемъ пушешествіи. Всегдашней прошивной вѣспрѣ, всегдашнее замѣшательство ошъ береговъ и оспрововъ, коихъ къ великому своему сожалѣнію идучи къ Америкѣ онъ не видалъ, его безпокоила. А свержѣ

Ц 4

сего

(\*) Мѣсяца Сентября Спр. 216.

В своем «Описании морских путешествий по Ледовитому и Восточному морю с Российской стороны учиненных» академик Г. Ф. Миллер сделал вывод о невозможности северо-восточного морского пути: «ныне уже никому на мысль не придет, чтоб еще производить кораблеплаванье по показанному морю». Работа опубликована в нескольких номерах журнала «Сочинения и переводы, к пользе и увеселению служащая» за 1758 г., издававшегося в Санкт-Петербурге при Императорской Академии наук. Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)



Гравюра с изображением Тобольска и русских судов на реках Тобол и Иртыш из книги Избрanta Идеса, купца, отправленного в 1692 г. Петром I с посольством в Китай для установления торговых отношений. По: (Driejaarige reize naar China, te lande gedaan door den Moskovischen afgezant, E. Ysbrants Ides, van Moskou af, over Groot Ustiga, Siriania, Permia, Sibirien, Daour, Groot Tartaryen tot in China... Amsterdam, 1704). Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

96

подтверждается «найденными лет за двадцать древними готическими серебряными деньгами при реке Пинеге в Кеврольском уезде, примеченными в знатном отдалении от моря, на берегах сибирских старинными кочами и, наконец, повествованием новгородского летописателя, что древние славяне ходили по рекам Выме и Печоре, даже до Великой Оби промышлять дыньков, то есть соболей» (там же, с. 442—443). А на замечание М. А. Вольтера в его «Истории Российской империи при Петре Великом», что земля вокруг Архангельска «весьма новая» и стала известна в Европе лишь в се-

редине XVI в., Ломоносов ответил: что «В Двинской провинции, где ныне город Архангельской, торговали датчане и другие нордские народы за тысячу лет и больше, о чем пишет Стурлезон, автор 12-ть столетия по Христе» (там же, т. 6., с. 91).

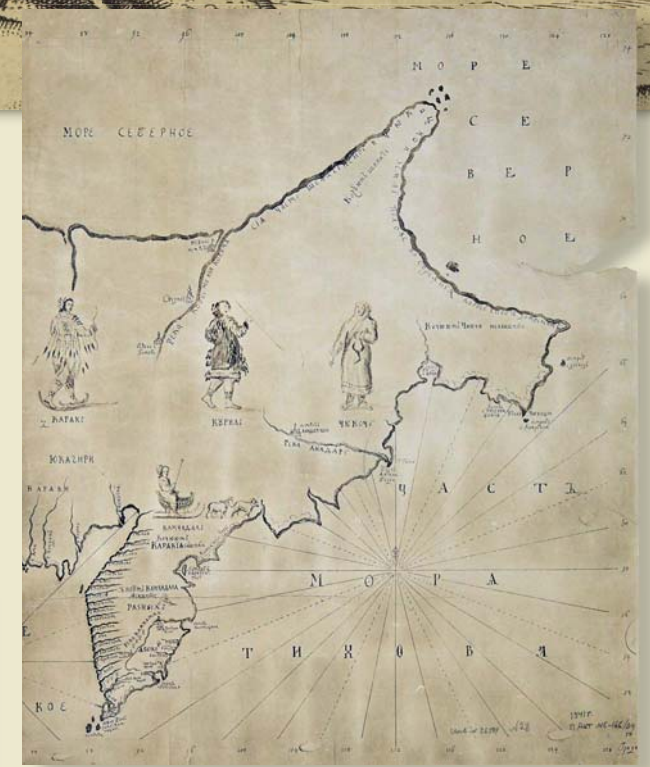
В этой же главе Ломоносов уделяет большое внимание плаваниям В. Баренца. Источником информации о них Ломоносову послужила книга Геррита де Фера, изданная в Амстердаме в 1598 г. Ломоносов описывает встречу голландских мореплавателей с российскими промышленниками: «Видели на дороге промышленни-

ков российских и осведомлялись у них о дороге неоднократно, покупая от них притом съестные припасы» (там же, с. 447). Другая часть второй главы посвящена российским открытиям. Ломоносов писал, что «хотя ж голландцы от таковых несчастливых предприятий весьма лишились надежды и больше к восточно-северной стороне намерений своих не простирали, однако из того не следует, чтобы их походами всему рачению и мужеству человеческому был предел положен. Явствует противное из неутомимых трудов нашего народа...» (там же, с. 448).

В 1758 г. Академия наук опубликовала работу Миллера «Описания морских путешествий по Ледовитому и Восточному морю с Российской стороны учиненные», в которой утверждался российский приоритет в арктических исследованиях и открытиях. Подводя итоги этих исследований, Миллер сделал несколько выводов, и первый среди них – невозможность пути через Северный Ледовитый океан. Он считал, что в ходе

русских путешествий из Якутска до Тихого океана была неоспоримо «доказана совершенно невозможность судового ходу по Ледовитому морю, как то прежде сего англичане и голландцы для сыскания ближайшего пути в Индию по сему морю пройти покушались. Чего ради уповательно ныне уже никому на мысль не придет, чтоб еще производить кораблеплаванье по показанному морю. Ибо надобно, во-первых, чтоб такой путь, дабы происходил с пользою, мог быть совершен одним летом. Но мы видели, что не по всякое лето и от Архангельского города до Оби, а оттуда до Енисея реки проходить можно» (Миллер, 1758, июль, с. 26—27). Миллер писал о непреодолимых трудностях, поджидающих тех, кто рискнет переплыть «через пролив Вейтгатской»: отсутствие карт островов Ледовитого моря, отсутствие чистой воды в более высоких полярных широтах, упоминал он и огромные непреодолимые льды в устьях Лены, и «речные большие льдины», стоящие неподвижно. Отдельно упомянул он тот факт, что иностранные

97



«Сия карта сочинена в Сибирской экспедиции при команде от флота капитана Беринга от Тобольска до Чукотского угла» (173?). Показаны населенные пункты по рекам, расселение народностей; подробная речная сеть; местами – леса. Масштаб 1 : 10 500 000. Вторая половина XIX в. Фоторепродукция. Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

матросы не смогут вынести все тяготы пути, так как они не столь выносливы и непривычны, как русские. «Сих причин, по моему мнению, кажется довольно, к отвращению всякого народа от таковых предприятий, – писал Миллер, – Мы же и поныне находились бы во всегдшнем о сем сумнении, есть ли бы представленные путешествия по ледовитому морю о том нас не удостоверили» (там же, с. 32). Свои рассуждения Миллер заключает довольно странным, с точки зрения русских интересов, выводом: если англичане освоят северо-западный проход, то «Россия при том ничего бы не потеряла», наоборот, русские открытия способствовали бы «английским предприятиям при Северо-западном проезде» (там же, ноябрь, с. 422). Ломоносов в своем «Кратком описании...», как и Миллер, также обращается к походам русских море-

плавателей «дабы вся обширность северных морских путешествий была подвержена единому обозрению любопытного разума, склонного к изысканию полезной правды» (Полн. собр. соч., т. 6, с. 448). Однако при этом делает абсолютно иные выводы. Описывая тяжелейшие путешествия русских первопроходцев Федота Алексея, Семена Дежнева и Герасима Акундинова, в 1647–1648 г. обнаруживших существование пролива между Азией и Америкой, Ломоносов заключает: «Сею поездкою несомненно доказан проход морской из Ледовитого океана в Тихий, к чему наше главное намерение здесь простирается. При сем Дежнев слышал, что море около Чукотского носу не повсягдно бывает ото льду чисто» (там же, с. 449–450). Написал Ломоносов и об экспедициях В. Беринга, которые показали возможность предлагаемого уче-

ным плавания на Камчатку: «От Чукотского носу на Камчатку морской свободный ход отнюдь не сомнителен и доказан путешествием Беринговым, который 1728 года июля 20-го дня вышел из устья реки Камчатки и пустился в север к востоку при камчатских берегах, делая оным по возможной точности описание. На 64 ½ и 67 градусах 18 минут приезжали к нему на байдарках чукчи, у коих он спрашивал через толмача-корячанина о положении земли далее к северу, на что ответствовали, что она после того простирается к западу. Губу ли они, после носу следующую, или главный поворот размели, сомнительно, только в самом деле правда, и Беринг не напрасно думал, что он по данной себе инструкции исполнил. Одного жаль, что, идучи обратно, следовал тою же дорогою и не отошел далее к востоку, которым ходом, конечно бы, мог приметить берега северо-западной Америки» (там же, с. 451).

### «Выбирать людей, которые бы мало причины имели назад оглядываться»

Завершив исторический обзор мореплаваний по Ледовитому океану, Ломоносов переходит к рассмотрению вопроса о том, возможен ли в принципе по природным обстоятельствам путь «Сибирским океаном в Ост-Индию», посвящая этому третью главу своего «Краткого описания...»

Главными препятствиями на пути к реализации такого плавания он считает лед и стужу. К этой проблеме Ломоносов подходит как ученый-физик, привлекая собственные исследования «теплоты и стужи», полярных сияний; он пишет о дрейфе льдов в Северном Ледовитом океане, «классах» льдов и морских течениях.

Впервые свои размышления о полярных сияниях Ломоносов привел в своем «Слове о явлениях воздушных от электрической силы происходящих» (1753), читанном на торжественном собрании Академии наук в честь «прославления» дня восшествия на престол Елизаветы Петровны: «северные сияния рождаются от происшедшей в воздухе электрической силы».

Занимался Ломоносов и вопросом о льдах. Свою работу «Мысли о происхождении ледяных гор в северных морях» в 1761 г. Ломоносов отправил в Шведскую Академию наук, в 1760 г. избравшую российского ученого своим почетным членом. В 1763 г. работа была опубликована в трудах Шведской Академии наук, в 1766 г. – на немецком языке. Ну а на русском языке ломоносовские «Мысли о происхождении ледяных гор в северных морях» стало возможным прочитать только в 1865 г. Изданы они были в «Кронштадтском вестнике» и не с оригинальной рукописи, её не нашли (?!),

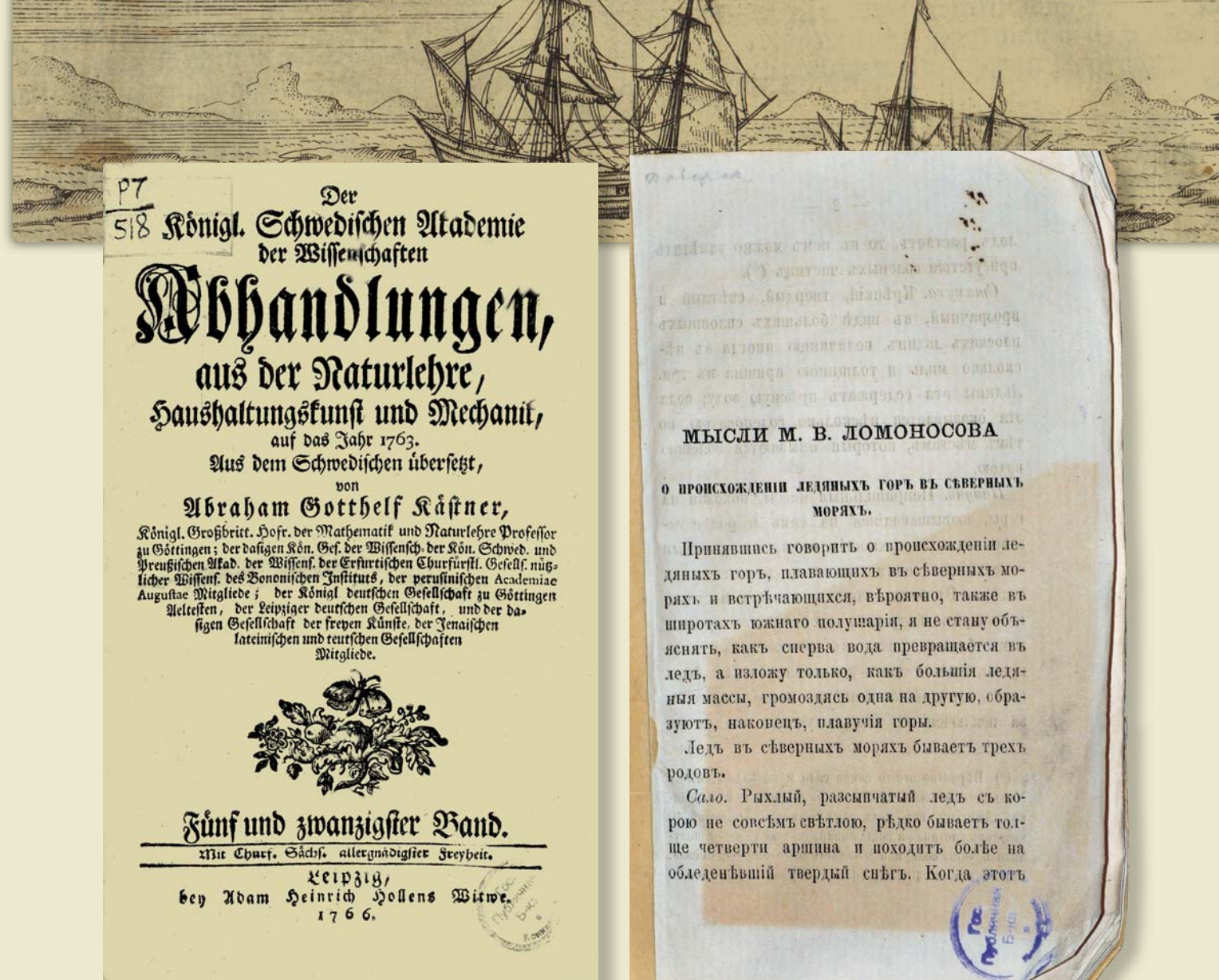
а в переводе с немецкого. Ломоносов предлагает в ней свою классификацию льдов, которая, по мнению специалистов, во многом сходна с современной.

В четвертой и пятой главах рукописи – «О приуготовлении к мореплаванию Сибирским океаном» и «О самом предприятии северного мореплавания и о утверждении и умножении Российского могущества на востоке», соответственно, – Ломоносов дает практические рекомендации по подготовке к экспедиции: какими должны быть суда, как отобрать людей для команды, какие сделать запасы, какие подготовить карты и инструменты.

Так, суда должны быть «невелики, легки, крепки, поворотливы», но при этом не новые; обшиты досками против льдов. Используя свой юношеский опыт, он рекомендует иметь на судах «по два три торосовых карбасков, какие на белом море при ловле тюленей промышленники употребляют».

Ломоносов предлагал «сверх надлежащего числа матрозов и солдат» включать в команду «около десяти человек лучших торосовщиков из города Архангельского, с Мезени и из других мест поморских, которые для ловли тюленей на торос ходят, употребляя помянутые торосовые карбаски или лодки по воде греблю, а по льду тягую, а особливо которые бывали в зимовьях и в заносах и привыкли терпеть стужу и нужду. Притом и таких иметь, которые мастера ходить на лыжах, бывали на Новой Земле и лавливали зимою белых медведей. Наконец, взять два или три человека знающих языки тех народов, которые живут по восточно-северным берегам сибирским, а особливо умеющих язык чукотский. Присем всем смотреть сколько можно, чтобы выбирать людей, которые бы мало причины имели назад оглядываться и попечение иметь об оставшихся домашних» (там же, с. 485). Думал Ломоносов и о противоягодных средствах: цинга – это «бич полярных стран».

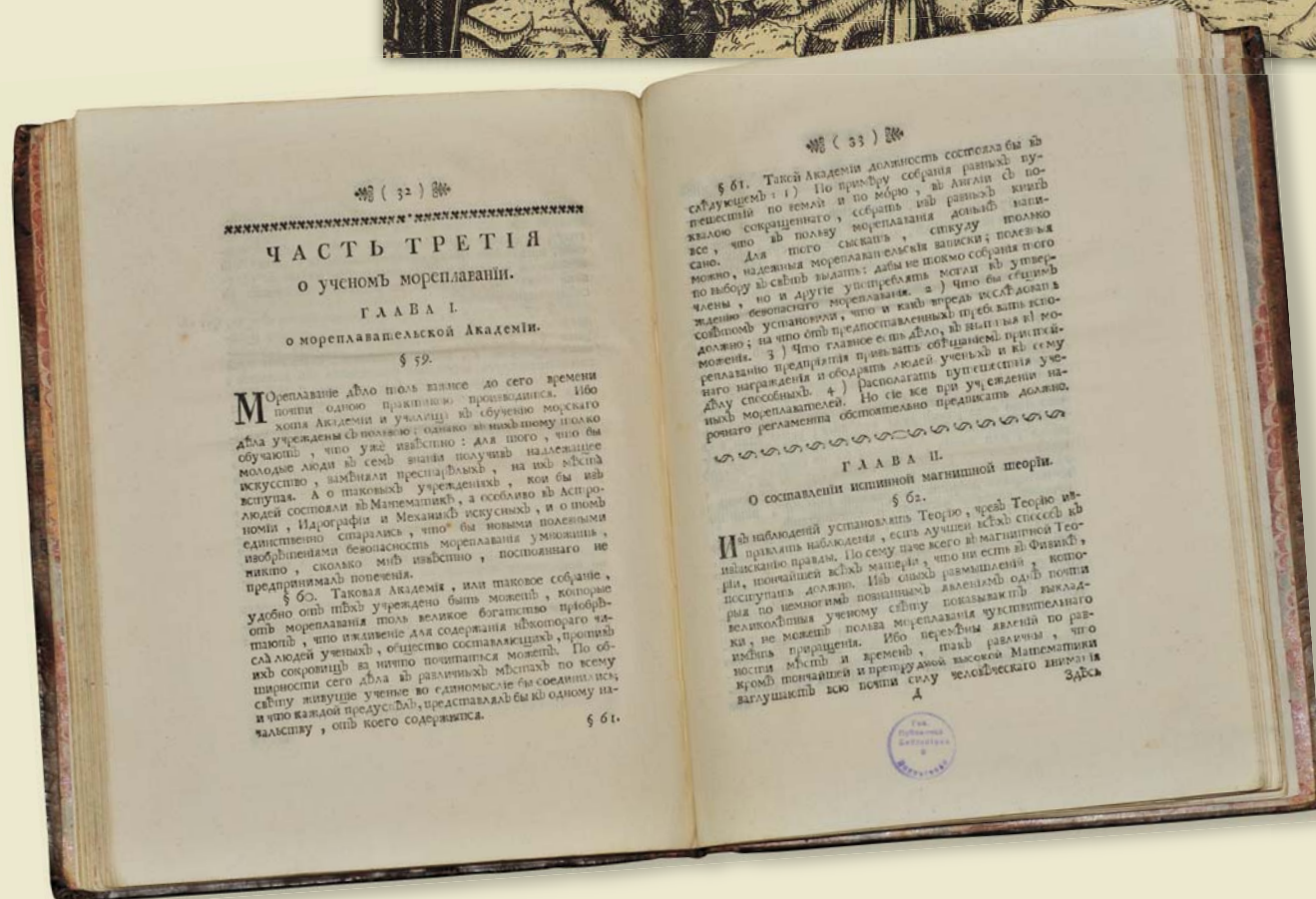
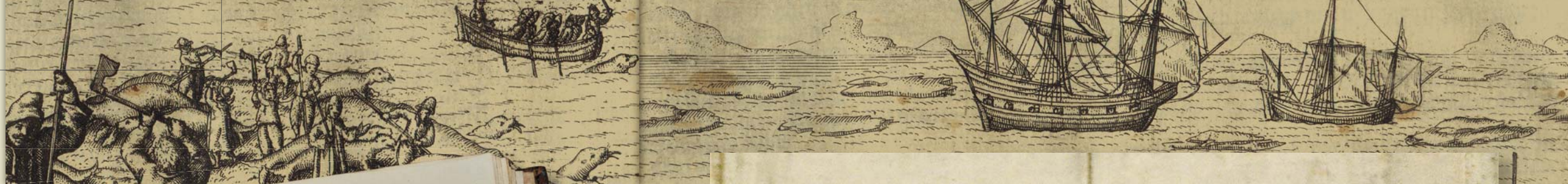
По вопросам навигации Ломоносов ссылается на свой труд «Рассуждение о большой точности морского пути», прочитанный им 8 мая 1759 г. на Публичном собрании Академии наук в присутствии многочисленной петербургской знати. В нем, в частности, шла речь и об инструментах, необходимых в экспедиции. Нахождение широты и долготы при ясной погоде, по мнению Ломоносова, требовало усовершенствования целого ряда приборов: английского квадранта, пружинных и «высыпных» часов и т.д. Для определения координат корабля в облачную погоду он предлагал самопишущий компас, показывающий отклонение корабля от курса при боковом ветре. Для определения скорости морских течений Ломоносов изобрел салометр, а для предсказания погоды – «новую разновидность морского барометра». Кстати, именно в этой работе Ломоносов предложил создать Международную мореплавательную академию.



### «Людей, к трудам определенных, предаем унынию, ослаблению и забвению»

В заключение своего «Краткого описания разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» Ломоносов пытается «отвратить мнения, противные сему славному и полезному предприятию». Приводя разные доводы в пользу экспедиции, ученый писал, что в ходе нее «приобрести можно целые земли в других частях света для расширения мореплавания, купечества, могущества, для государственной и государственной славы, для показания морских российских героев всему свету и для большего просвещения всего человеческого роду» (там же, с. 497). С горечью Ломоносов взывал, что если

«Мысли о происхождении ледяных гор в северных морях» М. В. Ломоносова вышли в свет сначала на шведском языке (1763), затем на немецком (1766) и лишь столетие спустя – на русском (1865). Слева – немецкое издание работы Ломоносова (Gedanken vom Ursprunge der Eisberge im nordischen Meer engesandt von Michael Lomonosow // Der Konige Schwedischen Academie der Wissenschaften abhandlungen aus der Naturlehre Haushaltungskunst und Mechanic auf des Jahr 1763. Leipzig, 1766. S. 33–43). Справа – русская публикация в «Кронштадтском вестнике» (1865, № 37). Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)



М. В. Ломоносов. «Рассуждение о большой точности морского пути, читанное в публичном собрании Императорской Академии наук мая 8 дня 1759 года господином коллежским советником Михайлом Ломоносовым» (СПб.: Тип. Академии наук, 1759). Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

К рукописи М. В. Ломоносова «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» приложена карта океана вокруг Северного полюса, составленная самим автором. На карте нанесены три пунктирные линии. От Ирландии пунктирная линия показывает маршрут не существовавшего плавания португальца Мельгера, о котором писали французский географ Ф. Бюаш и картограф Ж.-Н. Делиль. Пунктир от Новой Земли к Берингову проливу – маршрут экспедиции, которую намечал Ломоносов, а от Шпицбергена к Беринговому проливу – маршрут, принятый Адмиралтейств-коллегией и описанный Ломоносовым в первом прибавлении к «Краткому описанию разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию». Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

слава России сердцами не движет, то пусть подвигнет их на поиск пути по океану «нарекание от всей Европы», потому как стыдно, что «имея Сибирского океана оба концы и целый берег в своей власти, не боясь никакого препятствия в поисках от неприятеля и положив на то уже знатные иждивения с добрыми успехами, оставляем все втуне, не пользуемся божеским благословением, которое лежит в глазах и в руках наших тщетно; и содержа флоты на великом иждивении, всему государству чувствительном, не употребляем в пользу, ниже во время

**КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ**  
 РАЗНЫХЪ ПУТЕШЕСТВІЙ  
 ПО СЪВЕРНЫМЪ МОРЯМЪ,  
 И ПОКАЗАНИЕ  
 ВОЗМОЖНАГО ПРОХОДУ  
 СИБИРСКИМЪ ОКЕАНОМЪ  
 ВЪ ВОСТОЧНУЮ ИНДИЮ.

мира оставляем корабли и снаряд в жертву тлению и людей, к трудам определенных, предаем унынию, ослаблению и забвению их искусства и должности» (там же, с. 498).

Какова же была судьба рукописи М. В. Ломоносова? Такова же, как и многих его других трудов, как ни тяжело писать об этом.

22 декабря 1763 г. член Адмиралтейств-коллегии И. Г. Чернышев вместе с письмом цесаревича Павла представил рукопись Морской российской флотской комиссии (Перевалов, 1949, с. 240–241). Но после неудавшейся экспедиции Чичагова о ней, вероятно, забыли. В. А. Перевалов предположил, что Ломоносов сам уничтожил черновик-автограф рукописи, поскольку «Краткое описание» он составлял в виде секретного доклада правительству России» (там же, с. 33). Вряд ли с этим можно согласиться. Известно, что судьба всего архива Ломоносова драматична, да и как мы видели, многое из того, что Ломоносов высказывал в «Кратком описании» он уже так или иначе публиковал. Секретной была подготовка экспедиций, но не содержание рукописи Ломоносова.

Известно, что в Адмиралтейств-коллегии с рукописи Ломоносова были сделаны две копии – обе в настоящее время хранятся в Российском государственном архиве ВМФ. В 1828 г., когда историк русских географических открытий В. Н. Берх, впервые опубликовал два «Прибавления» Ломоносова, он обратил внимание читателей на то, что они принадлежат перу Ломоносова. Однако найти рукопись, к которой эти прибавления были сделаны, Берх не смог.

Впервые «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» было издано историком русского флота А. П. Соколовым

по копии, хранящейся в Адмиралтейств-коллегии. Это произошло только в 1847 г. – через 84 года после написания труда!

Второе издание «Краткого описания» вышло в 1854 г. А. П. Соколов, который дополнил издание своими пояснениями, с сожалением писал в предисловии, что после открытия этого, важнейшего труда Ломоносова, ни литературные, ни ученые периодические издания не обратили на него никакого внимания.

Первый опыт научного анализа труда Ломоносова «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» принадлежит М. С. Панченко, опубликовавшему в 1905 г. работу «Забытый проект М. В. Ломоносова: „Показание возможного прохода Сибирским океаном в Восточную Индию“».

**Т**рехсотлетний юбилей Михаила Васильевича Ломоносова отмечен новыми многочисленными исследовательскими работами, конференциями, выставками, телефильмами. Но всевозможные дискуссии и «смелые» оспаривания значения Ломоносова для России оставляют горький послеюбилейный осадок и осознание того, насколько мало был использован потенциал ломоносовского гения в России, человека XVIII века, патриота – оказавшегося столь современным России века XXI.

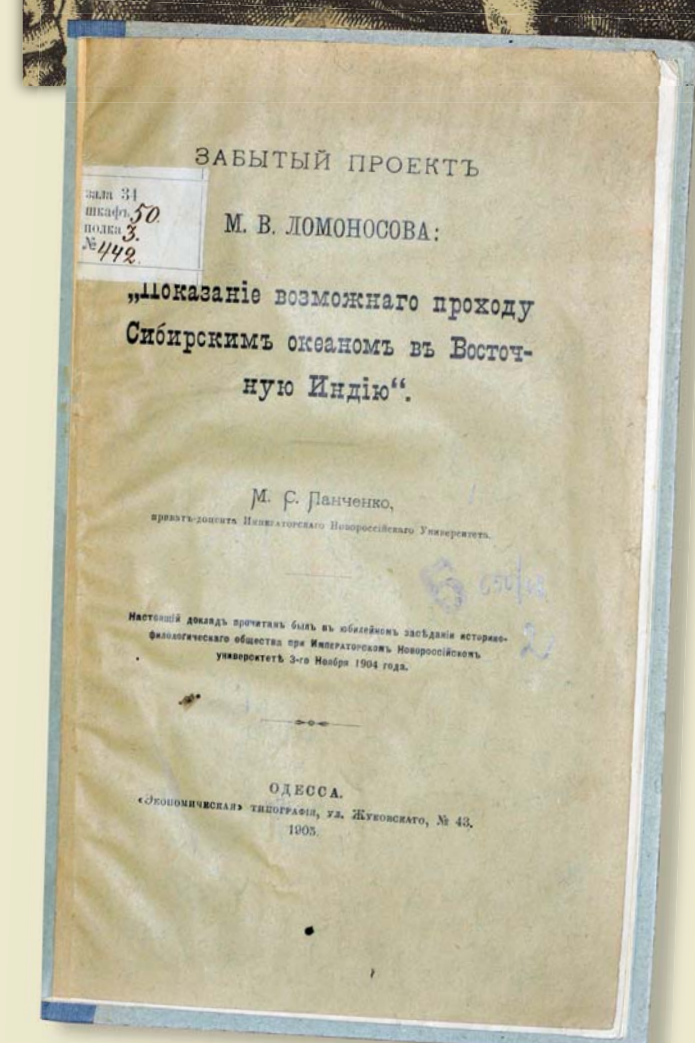
Несмотря на всю универсальность и разносторонность деятельности великого русского ученого им владела единственная страсть – благо России. Как молитва и заклинание звучат его слова и сегодня: «Восстании и ходи, восстании и ходи Россия. Отряси сомнения и страхи, и радости и надежды исполненная, красуйся, ликуй, возвышайся». (Полн. собр. соч., т. 8, с. 588).

*Литература*

Вережкин М. И. Жизнь покойного Михаила Васильевича Ломоносова / Публ. и прим. Г. Е. Павловой // М. В. Ломоносов в воспоминаниях и характеристиках современников. М.; Л.: Издат. Акад. наук СССР, 1962. С. 42–51.

Миллер Г. Ф. Описания морских путешествий по Ледовитому и Восточному морю с Российской стороны учиненные // Сочинения и переводы, к пользе и увеселению служащая. СПб.: Академия наук, 1758. Июль. Ноябрь.

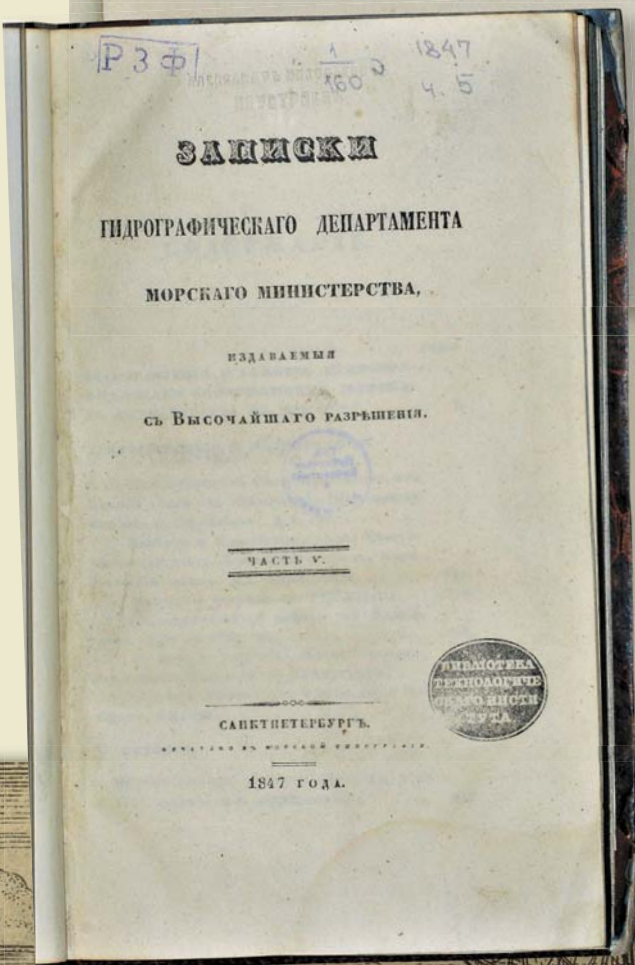
Перевалов В. А. Ломоносов и Арктика: из истории географической науки и географических открытий. М.; Л.: Главсевморпуть, 1949. 504 с.



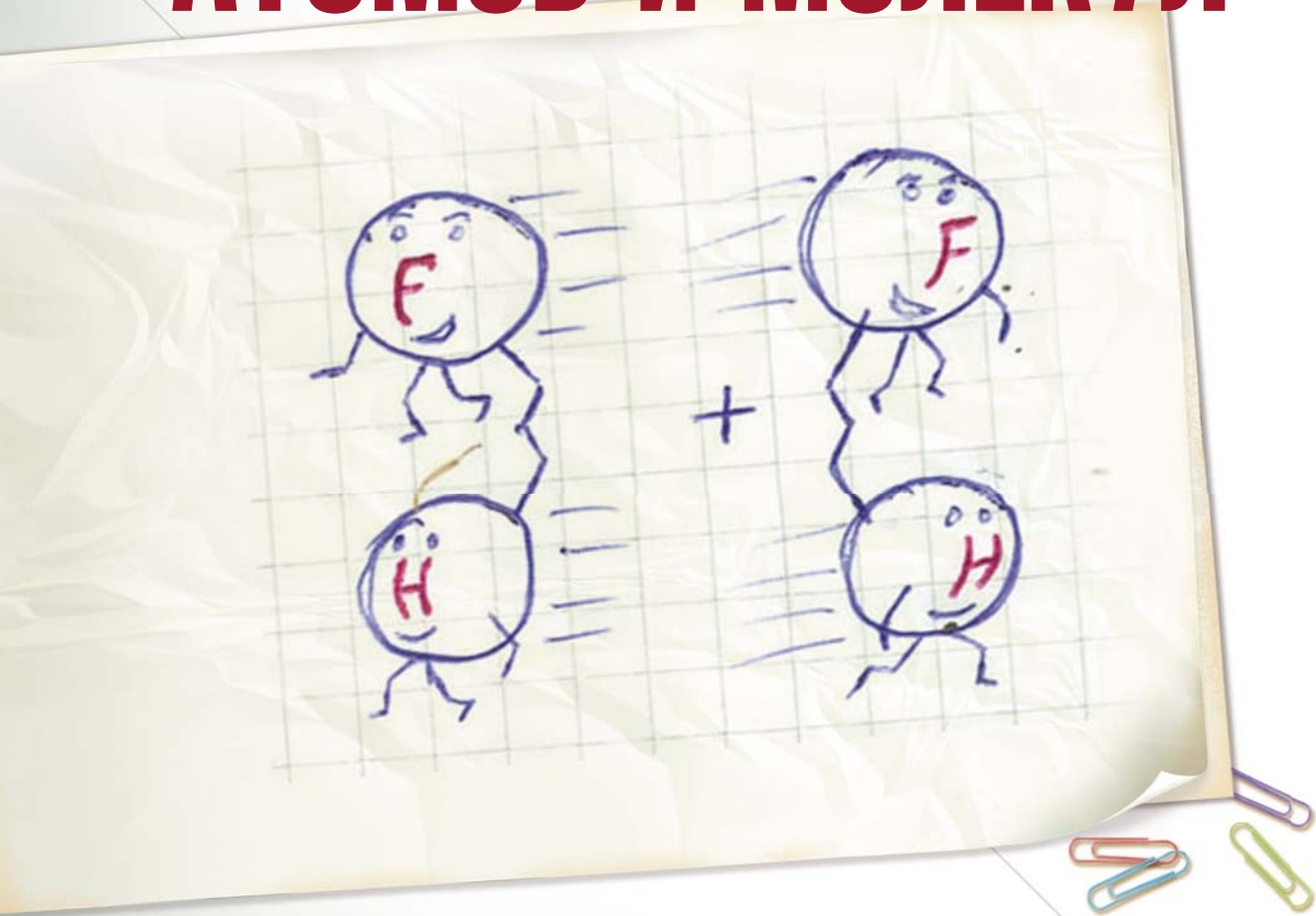
«Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» М. В. Ломоносова было впервые опубликовано только в 1847 г. историком флота А. П. Соколовым по спискам, найденным в архиве Адмиралтейств-коллегии. Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

Само название книги М. С. Панченко «Забытый проект М. В. Ломоносова: „Показание возможного прохода Сибирским океаном в Восточную Индию“» (Одесса, 1905) напоминает о драматичной судьбе этой рукописи Ломоносова, как, впрочем, и всего архива великого ученого. Российская национальная библиотека (Санкт-Петербург)

При подготовке статьи использованы материалы выставки, прошедшей в Российской национальной библиотеке в 2010 г. «Ради славы и пользы Отечества»



# СОЦИАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ



**Ключевые слова:** каталитическое низкотемпературное окисление монооксида углерода, наука о поверхности, РФЭС.  
**Key words:** catalytic low-temperature carbon monoxide oxidation, surface science, XPS

В статье использованы иллюстрации автора

Что такое научная популяризация? Умение говорить просто о сложном. Оно сродни искусству и, как всякий дар, не зависит от степеней, званий и даже научного стажа пишущего. Совет научной молодежи СО РАН с 2010 г. проводит ежегодный конкурс научно-популярных статей, чтобы побудить аспирантов, студентов и молодых специалистов интересно, доступно и корректно излагать широкой публике специализированные научные результаты. В 2011 г., объявленном Международным годом химии, диплом второй степени был присужден статье, в которой просто – буквально «на пальцах» – рассказывается об основных идеях и принципах химического катализа

**У**важаемый читатель! Эта статья преследует цель кратко и доходчиво объяснить современные научные термины, понятия и достижения в одной из передовых областей научных исследований человеку, непосредственно с наукой не связанному.

Конкретно речь пойдет о такой научной области, как *гетерогенный катализ*, а точнее, о современных способах узнать, «что делают молекулы» на поверхности твердого катализатора в процессе химической реакции.

## Путь химической реакции

Всем нам из школьного курса химии хорошо известно, из чего состоят молекулы – из атомов. Также известно, что атомы содержат электроны, вращающиеся вокруг ядра. И то, как эти электроны ведут себя при сближении атомов и образовании химической связи, определяет свойства молекулы, а вместе с тем и вещества, из этих молекул состоящего.



ГУЛЯЕВ Роман Владимирович – кандидат химических наук, научный сотрудник Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН (Новосибирск). Область научных интересов: окислительный катализ, фотоэлектронная спектроскопия, благородные металлы, оксиды с переменной валентностью. Автор и соавтор 9 научных публикаций. Лауреат конкурса научно-популярных статей Совета научной молодежи СО РАН (2011)

Любая химическая реакция (за исключением соединения и разложения) суть обмен атомами между «старыми» молекулами с образованием «новых» молекул. Вот, например, очень простая реакция образования фтороводорода из водорода ( $H_2$ ) и фтора ( $F_2$ ). В ней нет ничего сложного: молекулы обменялись атомами и в результате образовались новые молекулы HF. Эта химическая реакция в силу своей простоты и по причине очень высокой активности фтора (к последнему можно даже применить термин – «агрессивный», и это не будет научным моветоном) протекает со взрывом даже при температуре жидкого азота!

Однако разных типов молекул в мире существует бесчисленное множество, и различаются они набором и числом атомов, в них входящих, а также тем, как эти атомы связаны между собой через свои электроны. Поэтому далеко не все (а точнее сказать, очень немногие) химические реакции протекают настолько охотно, как вышеупомянутая. И слава Богу! Иначе не только на Земле не было бы жизни, наш мир вообще был бы абсолютно не похож на ныне существующий.



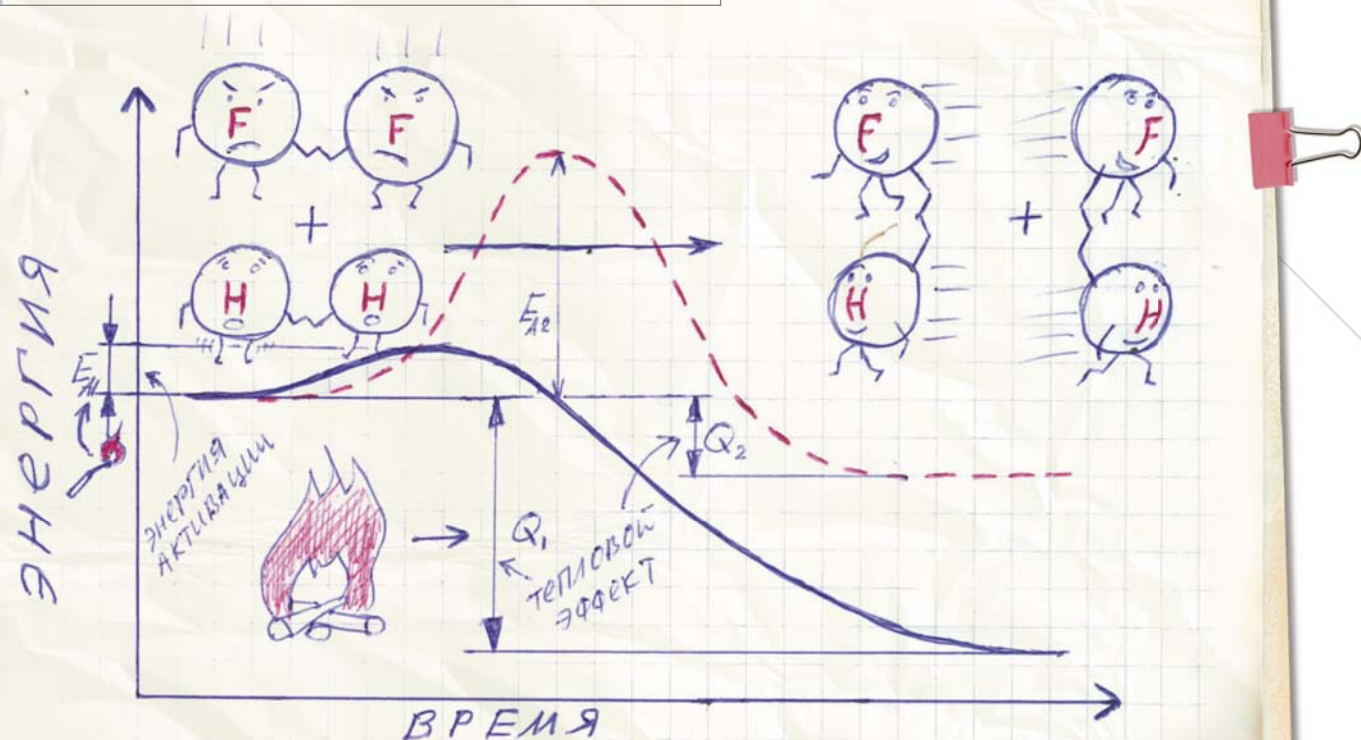


РИС.1 СХЕМА РЕАКЦИИ  $H_2 + F_2 \rightarrow 2HF$  И ЭНЕРГЕТИКА

Все дело в том, что для начала химической реакции почти всегда необходимо сообщить молекулам какое-то количество энергии, например нагреть реакцию смесь, осветить и т.д. Молекулы переходят в активированное состояние и только тогда могут вступить в реакцию, в результате которой энергия выделяется.

Наиболее наглядный пример подобной реакции – горение. Сама по себе древесина не загорается, но если ее сильно нагреть или поджечь, она начинает реагировать с кислородом воздуха, при этом происходит выделение энергии (тепла) в виде пламени и жара. Это тепло частично тратится на «нагрев» новой порции древесины, и таким образом процесс горения самоподдерживается.

Энергетику химических реакций можно очень просто и наглядно изобразить схематически в виде всего одного графика, представляющего собой зависимость *полной энергии* системы от времени. (Полная энергия – это энергия, запасенная в виде химических связей в самих молекулах, плюс та энергия, которую мы им хотим сообщить, чтобы они вступили в химическую реакцию **РИС.1**.)

**1** Особенности энергетике протекания химических реакций наглядно демонстрирует график, представляющий собой зависимость полной энергии молекулярной системы от времени\*, где:  
 $E_A$  (энергия активации) – энергия, требуемая для начала химической реакции;  
 $Q$  (тепловой эффект химической реакции) – количество выделившейся наружу энергии, равное разности во внутренней энергии между исходным веществом и продуктом реакции.

\* Сплошная линия соответствует реакции образования фтороводорода из водорода ( $H_2$ ) и фтора ( $F_2$ ); пунктирная – большинству других химических реакций

В случае упомянутой выше реакции фтора с водородом кривая вначале незначительно ползет вверх, а потом резко падает. Изначальный подъем связан с тем, что для начала даже такой активной химической реакции требуется какое-то, пусть и небольшое, количество дополнительной энергии. А последующий резкий спад означает, что в ходе самой реакции энергия выделяется. Количество выделяемой энергии, которое равно разности между начальным и конечным энергетическими уровнями, называется *тепловым эффектом химической реакции* ( $Q$ ). Величина этого эффекта, т.е. количество тепла, зависит от свойств химических связей в молекулах веществ, вступающих в реакцию (*реактантах*) и веществ, образующихся в результате реакции (*продуктах*).

Для реакции водорода со фтором величина теплового эффекта воистину впечатляет! Что же касается большинства других химических реакций, то, судя по графику, практически во всех случаях требуется подвести большее количество энергии, тепла же выделится значительно меньше.

Легко заметить, что подъем и спад кривой образуют нечто наподобие барьера, который необходимо преодолеть, чтобы химическая реакция началась. Он так и называется – *барьер химической реакции*. А его высота, т.е. то количество энергии, которое необходимо передать молекулам для начала реакции, называется *энергией активации* ( $E_A$ ).

Подводя промежуточный итог, можно сказать, что у любой химической реакции есть два очень важных параметра – энергия активации  $E_A$  и тепловой эффект  $Q$ .

## Природа берет барьер

Существование активационных барьеров – великое благо! Без них все принципиально возможные в мире химические реакции взяли, да и осуществились бы мгновенно, оставив после себя раскаленный светящийся газ, который бы постепенно остыл и частично выпал в виде жидких и твердых частиц на земную поверхность. Думается, после этого наша планета представляла бы собой достаточно удручающее для живого существа зрелище.

С другой стороны, часто требуется получить какое-нибудь нужное, ценное вещество, а химическая реакция, которая приводит к образованию этого вещества, никак не желает идти. Говоря научным языком, реакция обладает высоким активационным барьером. Казалось бы, ничто не мешает взять нужные реагенты и хорошенько нагреть, чтобы преодолеть этот барьер. К сожалению, количество требуемой энергии часто настолько велико, что при этом начинают разрушаться сами молекулы реагента или образующиеся молекулы нужного нам

продукта. И проводить таким способом химическую реакцию становится просто нецелесообразно.

Однако не все так плохо! Природа придумала для «взятия барьеров» один очень интересный класс химических явлений, объединяемых общим термином *катализ*. Природные катализаторы – белки-ферменты – справляются со своей задачей великолепно! А задача эта состоит в том, чтобы провести нужную химическую реакцию со стопроцентным превращением в определенное вещество, и все это при температуре человеческого тела и обычном атмосферном давлении.

Сам катализатор (фермент) в химической реакции не расходуется, а вступает во временное взаимодействие с реагентами. И именно в этой, связанной с ферментом, форме реагенты и превращаются в нужные продукты. Сам же фермент отсоединяется и может участвовать в следующем реакционном цикле.

Получается, что интересующая нас химическая реакция, которая сама по себе не идет, прекрасно проходит в присутствии катализатора, который при этом практически не расходуется. Чтобы понять, как такое возможно, рассмотрим энергетические кривые для реакции превращения перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) в воду и свободный кислород, которая может идти как с участием фермента пероксидазы, так и без него **РИС.2**.

В случае отсутствия фермента высота активационного барьера ( $E_{A1}$ ) велика. Однако при добавлении фермента все меняется радикальным образом. Фермент, соединяясь с молекулами реагента (перекиси), влияет на электроны в составе этих молекул так, что в несколько измененном состоянии молекулы  $H_2O_2$  уже легко отсоединяют атомы кислорода, образуя воду и молекулярный кислород.

Для образования комплекса из фермента и молекулы перекиси требуется совсем незначительная энергия (первый подъем на графике) и чуть большая – для перехода этого комплекса в нужный продукт (второй максимум на кривой). В любом случае величина энергии активации  $E_{A2}$  в случае с катализатором намного меньше, чем без его участия. Таким образом, катализатор снижает высоту активационного барьера химической реакции настолько, что она становится возможной.

Важно отметить, что количество тепла, выделяемого в процессе протекания данной реакции, от катализатора не зависит. Он может только «облегчить» протекание химической реакции, понизив величину барьера. Однако запустить протекание реакции, термодинамически запрещенной (т.е. когда энергия в процессе реакции не выделяется, а поглощается), он не в состоянии.

Несмотря на все преимущества ферментов как катализаторов, их достаточно редко используют в промышленности. Во-первых, ферментативный катализ является *гомогенным*, т.е. протекает в одной фазе (как правило, в жидкой), а это затрудняет последую-

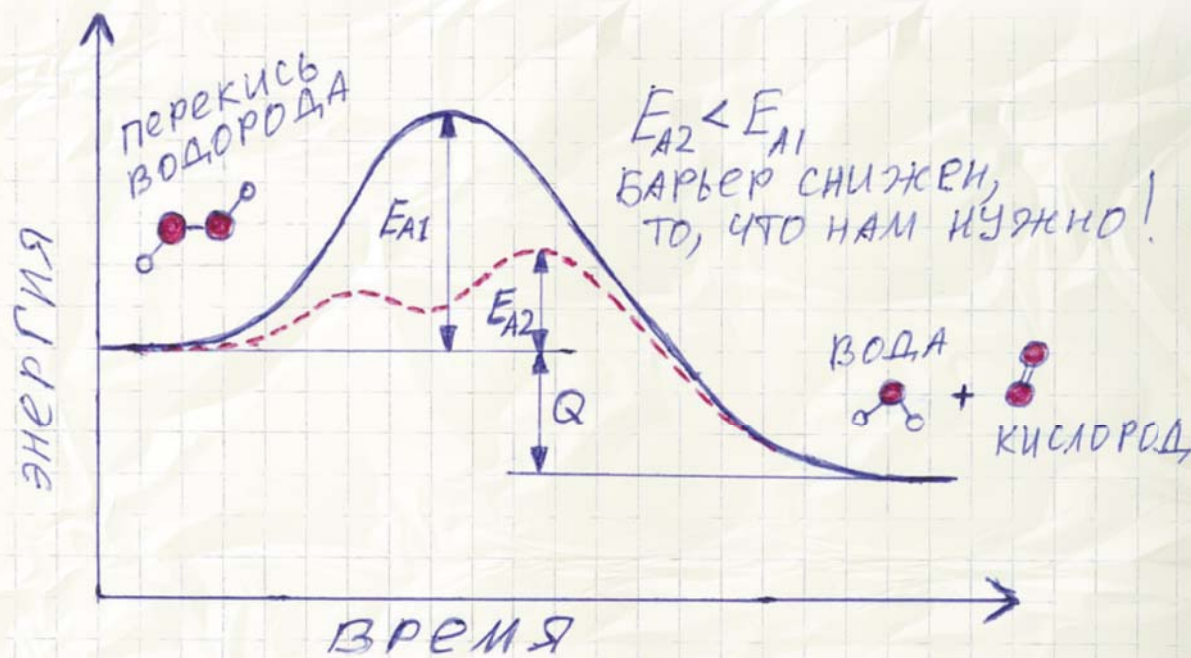


РИС.2. ОТЛИЧИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ОТ НЕКАТАЛИТИЧЕСКОЙ

**2** Суть катализа с энергетической точки зрения состоит в снижении высоты активационного барьера химической реакции\*, благодаря чему скорость каталитического превращения оказывается существенно выше.  
 $E_{A1}$  – энергия активации химической реакции в отсутствие катализатора;  
 $E_{A2}$  – в присутствии катализатора;  
 $Q$  – тепловой эффект химической реакции

\* Сплошная линия соответствует некаталитической реакции превращения перекиси водорода  $H_2O_2$  в воду и кислород; пунктирная линия – той же реакции с участием фермента пероксидазы в качестве катализатора

нялись прежде: сейчас металлы платиновой группы используют лишь как один из компонентов катализатора, который так и называется – *активный компонент*.

Такой компонент в виде очень мелких частиц наносится на *носитель*. Частицы настолько маленькие, что если мы выложим 10 тыс. штук таких частиц в ряд, то длина его будет не больше диаметра человеческого волоса. Предоставленные сами себе, частицы моментально сольются вместе в один «комочек» или, по-научному, *агрегат*; но они могут «жить» и самостоятельно, если будут на чем-то зафиксированы. Именно для этой цели и служит носитель.

Частицы мелкого размера используются по двум основным причинам. Во-первых, частички катализатора должны обладать как можно большей свободной поверхностью, а это как раз и достигается при измельчении, поскольку при уменьшении линейного размера тела его объем уменьшается намного быстрее, чем площадь поверхности. Во-вторых, при уменьшении размера частицы катализатора и достижении ее определенного диаметра (примерно 0,000005 мм!) начинают меняться и свойства самого металла, что приводит к резкому увеличению каталитической активности.

В качестве носителя, как правило, используют оксиды алюминия и кремния, потому что они выдерживают нагревание до 1000 °С и выше, обладают достаточной прочностью, легкостью, дешевизной и, что самое главное, развитой *удельной поверхностью*. Последнее означает, что эти материалы содержат огромное количество пор размером от микрона до нанометров, на внутренней поверхности которых как раз и крепятся частицы активного компонента. Соответственно, чем больше пор, тем больше активных частиц можно «посадить» на этот носитель.

Возвращаясь к реакции окисления угарного газа до углекислого, отметим, что если в качестве катализатора использовать палладий, нанесенный на окись алюминия ( $Pd/Al_2O_3$ ; в случае катализатора активный металл обычно пишется в начале, а через скобку черту – используемый носитель), то реакция начнется уже при 150 °С.

### Как он работает?

Снижение энергетического барьера реакции при использовании катализатора приводит к увеличению скорости реакции и резкому падению минимальной начальной температуры. Интуитивно понятно, что в этом случае катализатор действует аналогично ферментам, связываясь каким-то образом с молекулами-реагентами и меняя их структуру так, что реакция становится возможной при гораздо меньшей температуре. Но как этот процесс происходит в деталях?

Вернемся снова к каталитическому процессу горения угарного газа. т.е. окислению молекул CO на поверхности металлического палладия, находящегося в виде наночастиц в катализаторе  $Pd/Al_2O_3$  **РИС.3**.

Нужно отметить, что молекула CO имеет очень большую «склонность» к благородным металлам. Она в прямом смысле «подлетает» к поверхностным атомам палладия и цепляется за них атомом углерода. Этот процесс

шее отделение продукта от катализатора. Во-вторых, наиболее важные промышленные реакции являются очень простыми, тогда как большинство ферментативных реакций, напротив, очень сложны и сопряжены с другими реакциями. В-третьих, сами ферменты являются сложноустроенными большими органическими молекулами, содержащими сотни, тысячи, а иногда и десятки тысяч атомов. Поэтому использование таких макромолекул в промышленном масштабе во многих случаях будет экономически нецелесообразно.

### Катализатор, который придумали химики

Нужно сказать, что каталитическая активность свойственна не только ферментам, да и само это явление было открыто совсем в другой области. Еще в 1835 г. знаменитый шведский химик Йёнс Якоб Берцелиус ввел в обращение термин «каталитическая сила», основываясь на открытом к тому времени явлении ускоре-

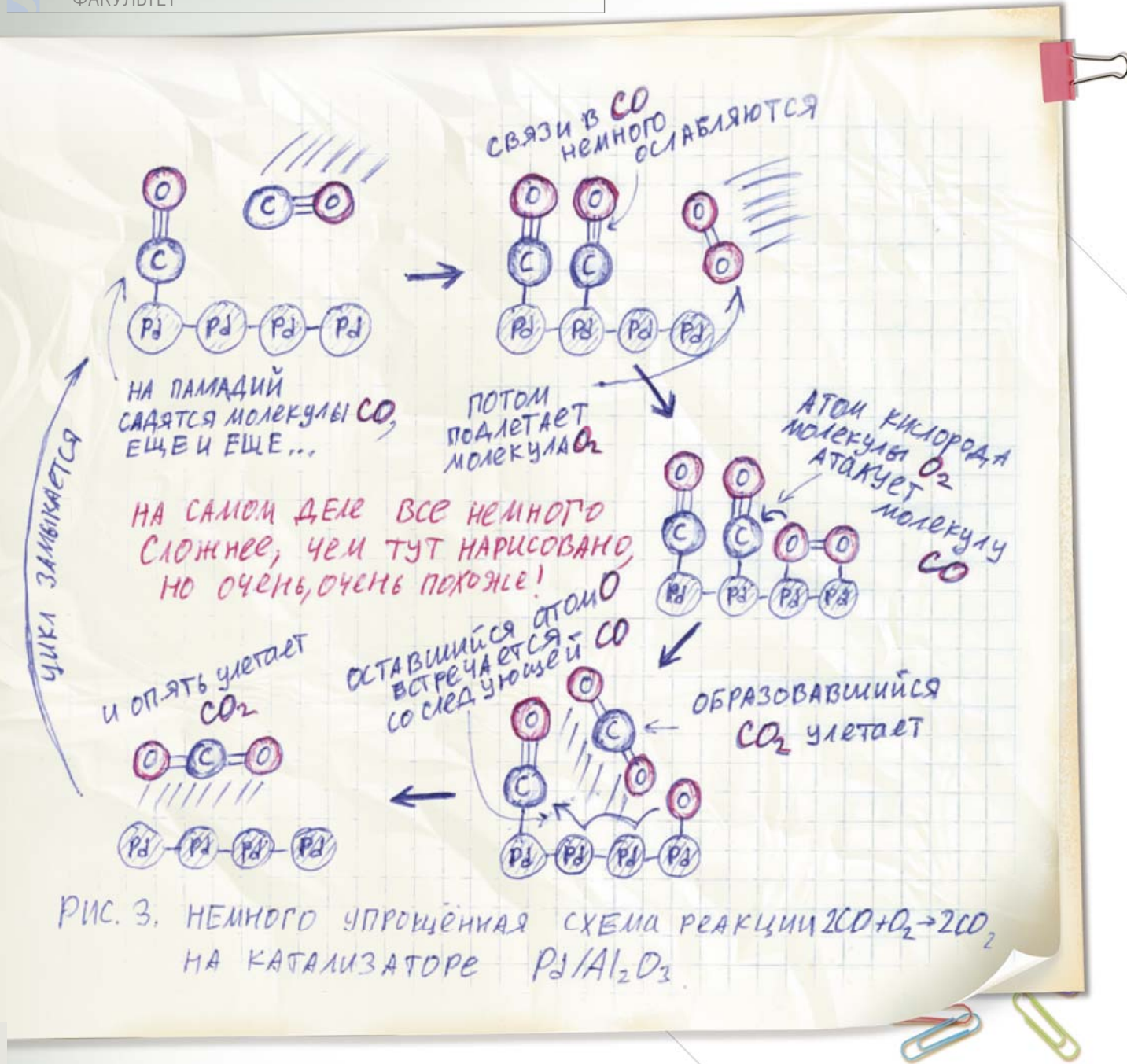
ния химических реакций при участии «третьей силы», которая сама не расходуется в реакционном процессе. Такие свойства были обнаружены у глин, благородных металлов и многих других веществ. На сегодняшний день практически нет ни одного химического элемента, который в том или ином виде не использовался бы в катализе.

Наиболее разнообразным каталитическим действием обладают металлы платиновой группы – сама платина, а также иридий, осмий, палладий, рутений и родий, которые ускоряют практически все известные простые реакции. Например, если бумажку, смоченную платиновой чернью, поместить в воздушную атмосферу, содержащую водород, последний тут же воспламенится и сгорит с образованием воды.

Каталитическую активность можно измерить. Часто ее оценивают по тому, как при введении катализатора изменяется один из существенных параметров реакции (скорость, начальная температура реакции и т.д.). Например, реакция сгорания окиси углерода

или угарного газа (CO) до углекислого газа ( $CO_2$ ) без катализатора начинается приблизительно при 700 °С – именно такой должна быть минимальная температура пламени при поджигании струи этого газа в воздухе. В присутствии же некоторых оксидов (глин, керамик и других подобных материалов) угарный газ начинает гореть уже при температуре 400 °С. Таким образом, этот катализатор понижает начальную температуру реакции на 300 °С, что, согласитесь, немало. Если мы добавим платину или палладий в виде порошка, угарный газ начнет гореть уже при температуре 200 °С!

Но в таком виде (точнее, в виде сеток из тонких проволок) платиновые металлы в катализе приме-



В свою очередь, молекула кислорода воздуха O<sub>2</sub> также садится на поверхность палладия, «подходит» к ослабленной молекуле СО и – готово! Происходит реакция с образованием молекулы СО<sub>2</sub>, которая уже особой «любви» к палладию не проявляет и тут же улетает прочь. «Осиротевший» атом кислорода ищет вторую молекулу СО, и акт окисления повторяется.

Как мы видим, работа катализатора заключается в том, что он меняет свойства связей в молекулах-реагентах, понижая их прочность. По современным научным представлениям, схожим образом работает и катализатор Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Именно «схожим», потому что изложенное выше схематическое описание процессов, отражающее общий принцип работы катализатора, представляет собой сильно упрощенную картину (Боресков, 1988). Подробные, «мелкие» детали процесса окисления СО кислородом на поверхности палладия изучаются и уточняются до сих пор.

### Как мы это узнали?

Не так давно узнать что-то об исследуемом объекте с точки зрения химии можно было почти единственным способом – с помощью химического же воздействия. Множество наглядных примеров такого рода имеется в школьном курсе химии.

Суть этого способа проста. Например, к исследуемому раствору приливаем некий реагент. Если в результате выпадет приметный белый осадок (или, допустим, выделится газ со специфическим запахом), то на основании этого наблюдения можно сделать вполне определенный вывод о том, какое вещество находилось в растворе. Это и есть *химический анализ*. Подобные методы применяются и сейчас, но чтобы «копнуть глубже», обычного химического анализа становится недостаточно.

Любое исследование материального объекта строится сходным образом: мы начинаем наблюдать за изменением интересующих нас параметров объекта. Если объект не меняется или делает это медленно, можно воздействовать на него каким-либо образом и посмотреть отклик. Однако воздействовать на объект можно ведь не только химическими, но и физическими способами! Например, нагреть, осветить, облучить электронами... А потом посмотреть, что произойдет: как, к примеру, отразится излучение, какая его часть пройдет сквозь объект, какая часть поглотится и т.д. Полученная информация позволит сделать вполне определенные выводы относительно объекта изучения.

Физические методы исследования очень удобны потому, что они, в отличие от химических, не являются деструктивными, т.е. они не разрушают сам объект изучения. Например, чтобы узнать, сколько палладия содержится в нашем катализаторе Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, требуется

полностью растворить его в кислоте, а потом добавить специальный реагент, который свяжет палладий. Далее, взвесив осадок, можно рассчитать изначальное количество палладия. Однако в результате этих действий мы, естественно, «потеряем» наш образец.

Но вместо этого мы ведь можем взять тот же образец, облучить рентгеновскими лучами и изучить вылетевшие из образца электроны. В этом случае будут и «волки сыты, и овцы целы» – и содержание палладия узнаем, и образец сохраним. Очень удобно, информативно и быстро! Но это далеко не все, на что способны физические методы исследования.

Как уже говорилось, каждый конкретный тип атома имеет свой набор электронов. Причем электроны в атоме расположены не как попало, а на различных, строго определенных орбитах вокруг ядра, подобно планетам вокруг Солнца (конечно, это очень приближенная аналогия). Соответственно, каждый электрон притягивается к положительно заряженному атомному ядру со строго определенной силой.

Но самое замечательное заключается в следующем: во-первых, сила притяжения электронов к ядру зависит не только от типа самого атома (т.е. химического элемента), но и от того, с какими соседними атомами он связан. Проще сказать – в составе какого вещества он находится. Во-вторых, эту силу можно измерить! И узнать, какой химический элемент и в составе какого вещества в исследуемом объекте находится.

Например, в случае металлического палладия мы имеем дело только с атомами одного типа. А если атомы палладия связаны с атомами кислорода, то значит, перед нами оксид палладия – PdO. Сила притяжения электронов к ядру в атоме палладия в случае чистого металла будет иметь одну строго определенную величину, а в случае оксида палладия – другую, не менее строго определенную. Измерить эту силу на практике несложно. Нужно просто воздействовать на интересующие нас атомы, а потом оценить изменения, произошедшие с электронами в этих атомах. Но вот как это сделать?

### Рентгеновское «око»

Рентгеновское излучение, как известно, хорошо проходит через вещество, но оно еще к тому же способно в буквальном смысле слова «выбивать» электроны из атомов. И этот процесс (по научному – *фотоэмиссия*) происходит по очень простому закону сохранения энергии.

Энергия, которая содержится в рентгеновском излучении, частично тратится на преодоление той самой силы притяжения или связи, а остаток ее передается электрону в виде кинетической энергии (энергии движения). Так как мы обычно точно знаем энергию используемого рентгеновского излучения, то измерив

**3** Каталитический процесс окисления угарного газа СО в присутствии платинового катализатора Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> начинается с хемосорбции исходных реагентов (СО и O<sub>2</sub>) на поверхности частиц металлического палладия. Подобные процессы используются в каталитических нейтрализаторах очистки выхлопных газов, которые устанавливаются на автотранспорте

повторяется до тех пор, пока каждый атом палладия на поверхности не будет «оккупирован» молекулой СО. И «любовь» молекулы СО не остается безответной: палладий «дарит» ей свои электроны, от чего та просто «тает» – прочность связи между атомами углерода и кислорода в молекуле существенно снижается!

Заметим, что в свободном виде молекула СО является очень устойчивой, недаром кислород в ней связан с углеродом аж тройной связью. А после того, как молекула «растаяла», ослабила свою «множественную» связь под влиянием палладия, она становится намного уязвимей.

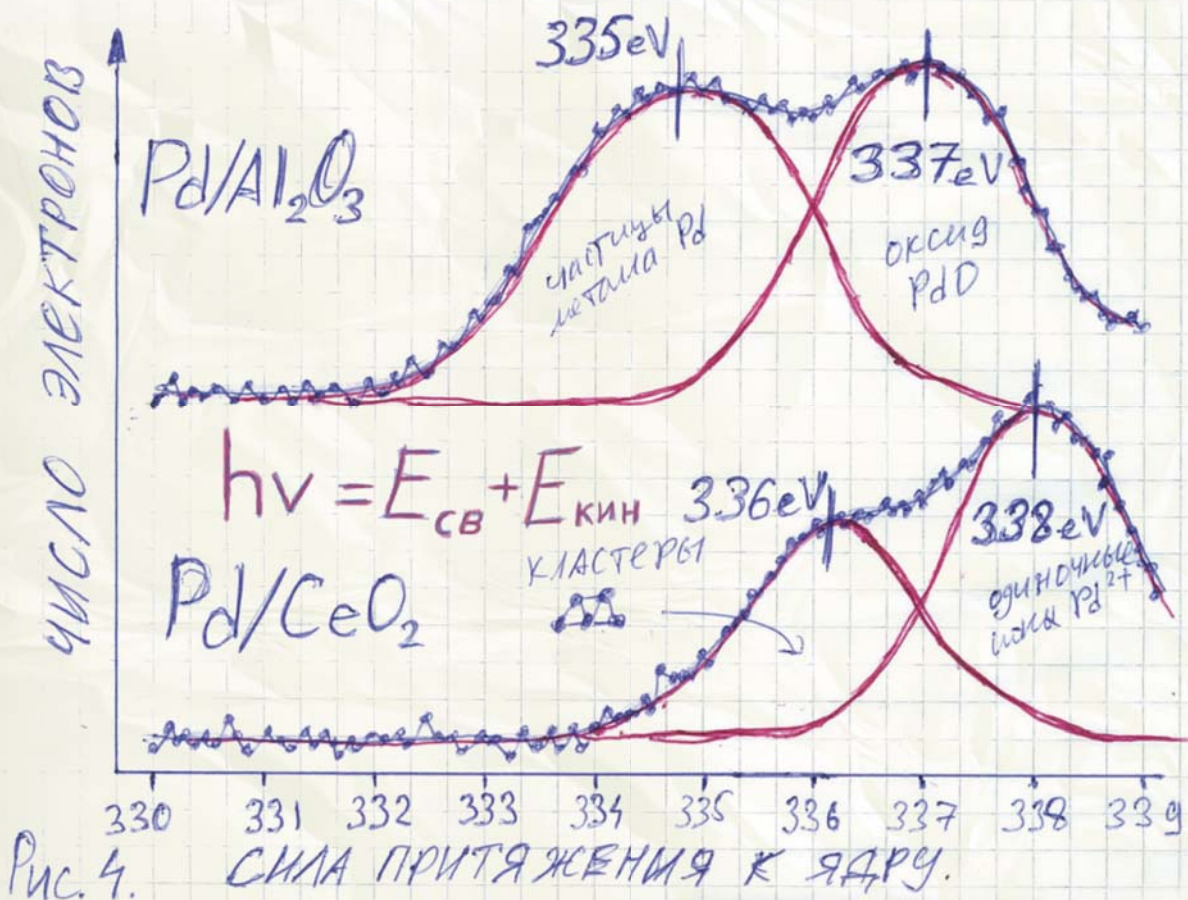


Рис. 4. СИЛА ПРИТЯЖЕНИЯ К ЯДРУ.

скорости выбитых электронов (что сделать несложно), можем легко, простым вычитанием, определить величины энергии притяжения электронов к ядрам в атомах объекта исследования. На этом принципе и работает один современный физический метод исследования с непростым названием: *рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия* (РФЭС).

Возьмем, к примеру, уже полюбившийся нам катализатор Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и поместим его в прибор, где он будет облучаться рентгеновским излучением **РИС. 4**. Измерим скорость вылетевших из него электронов и рассчитаем величины сил притяжения электронов к ядрам в атомах, из которых состоит катализатор.

А теперь рассмотрим зависимость числа выбитых электронов от их энергии для выбранной орбиты

**4** На линиях\* рентгеновского фотоэлектронного спектра пики соответствуют различным устойчивым электронным состояниям в атомах исследуемого образца (другими словами – электронам с разной энергией притяжения к атомному ядру).

$h\nu$  – энергия рентгеновского излучения;  
 $E_{св}$  – энергия притяжения, или связи;  
 $E_{кин}$  – кинетическая энергия электрона

\* Верхние линии спектра соответствуют платиновому катализатору на оксиде алюминия (Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); нижние – на оксиде церия (Pd/CeO<sub>2</sub>)

электронов в атомах палладия, находящихся в нашем катализаторе Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (Подобная зависимость обычно называется *энергетическим спектром*.) Если перемещаться по шкале, на которой отмечена сила притяжения электронов к ядру, слева направо, то видно, что вначале наш график находится на нуле – это свидетельствует об отсутствии электронов с такой энергией притяжения (связи). Далее имеется подъем кривой, включающей два максимума, а затем спад.

Интерпретируя эти данные, мы можем говорить, что в катализаторе присутствуют электроны двух типов с различной энергией связи – 335 эВ и 337 эВ. Первая величина соответствует электронам металлического палладия, вторая – оксида палладия. Собственно говоря, абсолютные значения показателей нам здесь не важны – главное заключается в том, что эти величины отличаются. И это свидетельствует о том, что палладий в нашем катализаторе находится одновременно в двух состояниях – металлическом и оксидном (Ivanova et al., 2010; Slavinskaya et al., 2011).

### Есть ли лучше?

Нужно признаться, что наш платиновый катализатор Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> далеко не идеал. Если в качестве носителя использовать не оксид алюминия, а оксид церия CeO<sub>2</sub>, то можно добиться существенно большего каталитического эффекта в реакции окисления угарного газа.

Дело в том, что оксид церия обладает одним очень интересным свойством. Тогда как оксид алюминия имеет точно определенный состав – на два атома алюминия приходится три атома кислорода, оксид церия может менять количество кислорода в своей структуре. Он способен отдавать кислород при недостатке последнего в окружающей среде и, наоборот, присоединять, когда кислорода в избытке. Таким образом, этот оксид служит своего рода кислородным аккумулятором или буфером.

Если на такой носитель нанести палладий, то мы получаем катализатор Pd/CeO<sub>2</sub>, который способен настолько ускорить реакцию окисления СО, что она идет уже при комнатной температуре! Механизм работы этого суперкатализатора удалось выяснить совсем недавно, и сейчас мы попробуем в нем разобраться.

На энергетическом спектре этого катализатора так же, как у катализатора на оксиде алюминия, имеется два максимума, однако с несколько другими значениями энергии связи: 336 и 338 эВ. Было установлено, что первое значение соответствует самым крошечным частицам палладия, насчитывающим буквально несколько атомов (их называют *кластерами*). Эти кластеры на порядок мельче, чем частицы металлического палладия в Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Это уже даже и не совсем металл, но еще и не оксид – нечто промежуточное.

Второй максимум отвечает одиночным атомам палладия, которые как бы растворены в оксиде церия, вписаны в его структуру. Можно считать, что это тоже окисленный палладий, но он совершенно отличается от обычного оксида PdO.

Причина высокой активности платинового катализатора на оксиде церия кроется в том, что молекулы угарного газа СО садятся на кластеры палладия, а молекулы кислорода – на вышеупомянутые одиночные атомы палладия. Таким образом, молекулы кислорода и угарного газа не мешают друг другу, как в случае предыдущего катализатора, где они «пользуются» одними и теми же атомами металла. Отсутствие такой конкуренции, по-видимому, настолько облегчает протекание реакции, что она начинается при комнатной температуре (Boronin et al., 2009).

Пример, приведенный в этой статье, касается лишь очень малой части всего многообразия научных изысканий в огромной области катализа. Тем не менее он наглядно демонстрирует, что в основе даже самых современных научных методов лежат достаточно простые принципы, логичные и понятные.

И чтобы понять, что происходит с отдельными атомами и молекулами в процессе протекания химической реакции, зачастую вполне достаточно базовых знаний по химии и физике. Надо только не пугаться сложных научных терминов, и тогда вы можете узнать много о скрытой от глаз, но такой увлекательной «социальной жизни» окружающего нас вещества.

### Литература

Боресков Г.К. *Гетерогенный катализ*. М.: Наука, 1988. С. 189.

Boronin A.I., Slavinskaya E.M., Danilova I. et al. *Investigation of palladium interaction with cerium oxide and its state in catalysts for low-temperature CO oxidation // Catalysis today*. 2009. Vol. 144, Iss. 3–4. P. 201–211.

Ivanova A.S., Slavinskaya E.M., Gulyaev R.V. et al. *Metal-support interactions in Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts for CO oxidation // Applied catalysis b-environmental*. 2010. V. 97, Iss. 1–2. P. 57–71.

Slavinskaya E.M., Stonkus O.A., Gulyaev R.V. et al. *Structural and chemical states of palladium in Pd/Al(2)O(3) catalysts under self-sustained oscillations in reaction of CO oxidation // Applied catalysis a-general*. 2011. Vol. 401, Iss. 1–2. P. 83–97.

ТЕМАТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА «НАУКА из первых рук» за 2004—2011 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 ОЛЕНА-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. Элов. 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. Соيفер. ЖАН БАТИСТ ЛАМАРК – СОЗДАТЕЛЬ ПЕРВОГО ЭВОЛЮЦИОННОГО УЧЕНИЯ
№ 4 (34)	В. Н. Соифер. 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 МИХАИЛО ЛОМОНОСОВ
№ 4 (40)	ОПТИМИСТ В ПОИСКАХ НЕФТИ. К 100-летию со дня рождения академика А. А. Трофимюка
№ 5 (41)	И. С. Дмитриев. «ДУШИ ОТЧАЯННОЙ ПРОТЕСТ»
№ 5 (41)	М. Ф. Хартанович. ОДИН ОПЫТ ВЫШЕ ТЫСЯЧИ МНЕНИЙ. Первая химическая лаборатория Академии наук
<b>ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>	
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. Хлебопрос. ОЗОНОВЫЕ 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. Миронов. 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. Алтыцев, 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)	<i>В. Н. Антонов.</i> ТРЕТЬЯ ОТ СОЛНЦА
№ 2 (38)	<i>В. Г. Шубин, В. Д. Штейнгарц.</i> УГЛЕРОД С ПЛЮСОМ
№ 2 (38)	<i>И. В. Коптюг.</i> ЯМР: РАЗДВИГА ГРАНИЦЫ ВОЗМОЖНОГО
№ 3 (39)	<i>О. П. Пчеляков.</i> В КИЛЬВАТЕРЕ – ВАКУУМ
№ 3 (39)	<i>А. В. Медведев.</i> ПРОГНОЗ «КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ»
№ 4 (40)	<i>А. Ю. Гармаш.</i> КВАРТЕТ ИЗ КВАРКОВ
№ 4 (40)	<i>Д. А. Гаврилов, Т. С. Гаврилова, Н. Б. Преображенский.</i> ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ: ОДНИМ ВЗГЛЯДОМ
№ 4 (40)	<i>А. Я. Болсуновский.</i> КРАСНОЯРСКИЙ СЛЕД «ФУКУСИМЫ»
№ 4 (40)	<i>С. Ю. Таскаев.</i> 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. Чупахин, А. А. Сидельников, А. А. Матвиенко, С. А. Чижик.</i> ИЗ ТВЕРДОГО – В ТВЕРДОЕ. Механика химических превращений
№ 5 (41)	<i>В. А. Резников.</i> ТАКИЕ РАЗНЫЕ РАДИКАЛЫ
№ 5 (41)	«ХИМИЯ В НГУ». Учебные пособия для студентов и школьников
№ 5 (41)	<i>Н. А. Мезенцев.</i> САМЫЙ ЯРКИЙ СИ-ГЕНЕРАТОР
№ 6 (42)	<i>Н. В. Косова.</i> ЛИТИЙ В ЛИДЕРАХ. Химические источники тока
№ 6 (42)	<i>Р. В. Гуляев.</i> СОЦИАЛЬНАЯ ЖИЗНЬ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ
<b>НАНОТЕХНОЛОГИИ</b>	
<b>2006</b>	
№ 4 (10)	<i>Р. Кроуфорд, И. Гибшубер, К. Таматракольн, М. Хильдебранд.</i> МИНИ-НАНОИНЖЕНЕРЫ
<b>2007</b>	
№ 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
<b>2008</b>	
№ 5 (23)	<i>А. Л. Асеев.</i> НАНОТЕХНОЛОГИИ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА
№ 6 (24)	НАНОМИР СТАЛ ТЕСНЕЕ

<b>2009</b>	
№ 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. Кириллюк.</i> НАНОРАЗМЕРНЫЕ ЗОНДЫ В БИОФИЗИКЕ
№ 2 (26)	МОЛЕКУЛЫ: ДЕЛИМ, ГРУЗИМ, ВОЗИМ. Нанопористые полимеры в медицине и энергетике
№ 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
<b>2010</b>	
№ 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
<b>2011</b>	
№ 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!
<b>МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА</b>	
<b>2005</b>	
№ 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)
<b>2006</b>	
№ 2 (8)	<i>А. Д. Медных.</i> ТРЕХМЕРНЫЙ МИР, В КОТОРОМ МЫ НЕ ЖИВЕМ
№ 6 (12)	<i>Э. Краузе.</i> МНОГОЛИКИЕ ВИХРИ
<b>2007</b>	
№ 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
<b>2008</b>	
№ 5 (23)	ХРУСТАЛЬНЫЕ КРЫЛЬЯ. Кольцо Людвиг Прандтля вручено сибирскому ученому
№ 5 (23)	«ПРИЕХАТЬ НА СОБОЛЕВСКУЮ КОНФЕРЕНЦИЮ – МОЙ ДОЛГ»
<b>2009</b>	
№ 2 (26)	<i>В. К. Гусяков, 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

<b>2010</b>	
№ 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
<b>2011</b>	
№ 1 (37)	<i>В. М. Фомин.</i> КОСМИЧЕСКИЙ УРОК РУССКОГО
№ 1 (37)	<i>В. М. Фомин, А. П. Латыпов.</i> ИЗ АТМОСФЕРЫ – В КОСМОС
<b>НАУКИ О ЗЕМЛЕ</b>	
<b>2004</b>	
№ 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»
<b>2005</b>	
№ 2 (5)	<i>М. В. Панченко.</i> БАЙКАЛ, ШАМПАНСКОЕ, 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. Уроки палеонтологии
<b>2006</b>	
№ 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. Агатова.</i> КОГДА РУШИТСЯ ЗЕМНАЯ ТВЕРДЬ. Чуйское землетрясение Горного Алтая
№ 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
<b>2007</b>	
№ 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, Э. 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

<b>2008</b>	
№ 1 (19)	<i>Ю. Н. Пальянов.</i> ГДЕ РАСТУТ АЛМАЗЫ
№ 2 (20)	<i>В. П. Самусиков.</i> САМОРОДКИ – ЗОЛОТАЯ ЗАГАДКА ПРИРОДЫ Фоторепортаж А. Прокольева
№ 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»
<b>2009</b>	
№ 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
<b>2010</b>	
№ 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 ОЗОНОВЫЙ 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. Неинвазивная диагностика вулкана
№ 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 КАРТАЖ: НЕТ ХУДА БЕЗ ДОБРА
№ 6 (36)	<i>В. И. Осипов.</i> ЧТО ТАКОЕ КАТАСТРОФЫ И КАК С НИМИ БОРЬТЬСЯ
№ 6 (36)	<i>Н. Л. Добрецов.</i> КЛИМАТ ВО ВРЕМЕНИ И В ПРОСТРАНСТВЕ
<b>2011</b>	
№ 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> ГЛУБИНАЯ 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

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> РАКООБРАЗИЕ 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 – ЗЕЛЕНЫХ 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. Шестопапов.</i> СТАРЫЙ ЗНАКОМЫЙ – ПТИЧИЙ ГРИПП
№ 3 (9)	<i>А. К. Юрлов.</i> ЛЕТАЮТ 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 <i>По материалам 19-го Международного диатомового симпозиума</i>
№ 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 ЩИТ 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. Кузеванов.</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> НЕСПАЩИЕ 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 РЕМОТИРУЕТ 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. Толстиковой</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. Глулов, И. А. Слепнева.</i> ОБОРОНУ ДЕРЖАТ НАСЕКОМЫЕ
№ 3 (21)	«ШЕСТИНОГАЯ» ПЛАНЕТА. <i>Фоторепортаж В. Глулова</i>
№ 3 (21)	<i>И. В. Стебаев.</i> КУЗНЕЧИК ДОРОГОЙ... <i>Эволюционно-экологические очерки</i>
№ 3 (21)	<i>Т. Г. Толстикова, А. Г. Толстиков.</i> СЛАДОСТЬ СКИФСКОГО КОРНЯ
№ 3 (21)	<i>В. И. Харук, С. Т. Им.</i> ВСПЕЛ 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. Веньяминова, А. Н. Синяков, М. А. Зенкова, В. В. Власов.</i> НУКЛЕИНОВЫЙ КОНСТРУКТОР
№ 6 (24)	НАУКА ЖЕНСКОГО РОДА. <i>Подводные чудеса Оксаны Калужной</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. <i>Заметки со дна Байкала</i>
№ 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. <i>Об этических и организационных проблемах трансплантологии в России</i>
№ 6 (30)	<i>В. И. Харук, К. Дж. Рэнсон.</i> ТАЙГА ПОД ПРИСМОТРОМ ЛИДАРА
№ 6 (30)	<i>В. П. Седелников, А. Ю. Королук, Н. Н. Лащинский.</i> ЗАТЕРЯННЫЙ АРХИПЕЛАГ. Алтайский край глазами ботаника

2010	
№ 1 (31)	<i>Е. И. Шишацкая.</i> БИОПЛАСТОТАН: СОВМЕСТИМ С ЖИЗНЬЮ
№ 1 (31)	<i>В. В. Глулов, 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. Черноусов.</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. Мартмянов, 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. Сорокикова.</i> СИНЕ-ЗЕЛЕНАЯ УГРОЗА
№ 6 (36)	<i>Е. А. Коваленко.</i> КУКУРБИТУРИЛ – МОЛЕКУЛА-ТЫКВА
№ 6 (36)	<i>В. И. Мосолов.</i> КАМЧАТКА ЗАПОВЕДНАЯ. <i>Фоторепортаж 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. Суховей.</i> НА ПУТИ К ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЕ
№ 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
<b>ГУМАНИТАРНЫЕ И ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ</b>	
2004	
№ 0	<i>В. И. Молодин.</i> СТРАНСТВУЮЩИЙ РЫЦАРЬ
№ 0	<i>И. Г. Гмелин.</i> ПУТЕШЕСТВИЕ ПО СИБИРИ. Перевод и публикация <i>А. Х. ЭлERTA</i>
№ 0	<i>А. М. Панфилов.</i> НЕВОЗВРАЩЕНОЦ. ИСТОРИЯ ОДНОГО ПОБЕГА
№ 2 (3)	<i>Г. В. Стеллер.</i> ОПИСАНИЕ ГОРОДА ИРКУЦКА И ОКРЕСТНЫХ МЕСТНОСТЕЙ. Перевод и публикация <i>А. Х. ЭлERTA</i>
№ 2 (3)	<i>А. М. Панфилов.</i> ИДУЩИЙ ЗА ГОРИЗОНТ, ИЛИ МОЛИТВА О ПРЕОДОЛЕНИИ. Жизнь и судьба <i>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. Хинтцше.</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: ТАНЦУЮЩИЕ С ДУХАМИ. Фоторепортаж <i>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. Перевод и публикация <i>А. Х. ЭлERTA</i>
№ 1 (4)	<i>А. М. Панфилов.</i> «ОХОТА МОЯ К УСЛУЖЕНИЮ ОБЩЕСТВУ...». Герард Фридрих Миллер – человек и ученый
№ 2 (5)	<i>В. Е. Медведев.</i> НЕКРОПОЛЬ «НЕПОКОРНЫХ». Большой Уссурийский остров археологических сокровищ
№ 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. Перевод и публикация <i>А. Х. ЭлERTA</i>
№ 3 (6)	ПАЛЕОЛИТИЧЕСКОЕ ДЕТСТВО АЛТАЯ
№ 3 (6)	«МИНИ»-АРТЕФАКТЫ. Археологическая сенсация из Дагестана
№ 3 (6)	В ПОПУТЧИКАХ У ГЕРАРДА ФРИДРИХА МИЛЛЕРА. Фоторепортаж
№ 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. Бородавский.</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. Первая публикация из архива академика <i>А. П. Окладникова</i>
№ 5 (11)	<i>И. В. Тункина.</i> В ПОИСКАХ СОКРОВИЩ БОГАТЫРЯ ХАРА-ЦЗЯНЬ-ЦЗЮНЬ. Неизданные труды <i>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. Русские ученые в Трапезунде
№ 6 (12)	<i>В. В. Ламин.</i> ВЕРСТЫ В БУДУЩЕЕ. Предыстория ТРАНССИБА
№ 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. По материалам Второй Камчатской экспедиции
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 ГАЛЛУЦИНОГЕНЫ 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. Сибирская провинция XIX в.
№ 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). Пушная пора
№ 6 (18)	<i>А. Х. Элерт.</i> ПО СЛЕДАМ АКАДЕМИЧЕСКОГО ОТРЯДА ВЕЛИКОЙ СЕВЕРНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ
№ 6 (18)	<i>И. Г. Гмелин.</i> ПУТЕШЕСТВИЕ ПО СИБИРИ. Тюрки Красноярского уезда и их шаманы
№ 6 (18)	<i>А. М. Панфилов.</i> НЕВОЗВРАЩЕНОЦ. История одного побега
№ 6 (18)	<i>Г. В. Стеллер.</i> ОПИСАНИЕ ГОРОДА ИРКУЦКА И ОКРЕСТНЫХ МЕСТНОСТЕЙ. Иркутские нравы и образ жизни
№ 6 (18)	<i>А. М. Панфилов.</i> ИДУЩИЙ ЗА ГОРИЗОНТ, ИЛИ МОЛИТВА О ПРЕОДОЛЕНИИ
№ 6 (18)	<i>В. Хинтцше.</i> ВТОРАЯ КАМЧАТСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ – НАУЧНЫЙ ПОДВИГ XVIII СТОЛЕТИЯ

№ 6 (18)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> ОПИСАНИЕ СИБИРСКИХ НАРОДОВ. Рыцари тайги
№ 6 (18)	<i>А. М. Панфилов.</i> «ОХОТА МОЯ К УСЛУЖЕНИЮ ОБЩЕСТВУ...»
№ 6 (18)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> ОПИСАНИЕ СИБИРСКИХ НАРОДОВ. Проблемы брака и семьи у народов Сибири
№ 6 (18)	<i>Г. Ф. Миллер.</i> ЯЗЫЧЕСКИЕ ВЕРОВАНИЯ И ОБРЯДЫ. Описание якутского обряда жертвоприношения
№ 6 (18)	<i>А. Х. Элерт.</i> РУССКИЕ СИБИРЯКИ XVIII ВЕКА И АЛКОГОЛЬ
№ 6 (18)	<i>А. Х. Элерт.</i> АЛКОГОЛЬ И ГАЛЛУЦИНОГЕНЫ 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. Деревянок, А. Б. Закстельский.</i> ТРОПОЙ ДАЛЕКИХ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ. К 100-летию <i>А. П. Окладникова</i>
2009	
№ 1 (25)	<i>В. М. Кулемзин.</i> «ЗАГОТОВКА ДЛЯ ТЕЩИ» С БЕНЗОПИЛОЙ. Как сибирские аборигены соединяют древность с современностью
№ 1 (25)	<i>Т. А. Исаева.</i> ДЕТСКИЕ КУКЛЫ НЕРЫМ ЯХ. Игрушка как элемент традиционной культуры
№ 1 (25)	<i>А. В. Лавров, В. И. Забелин.</i> ТАЙНЫ КРАСНОЙ ГЛИНЫ. Новые страницы доледниковой истории Южной Сибири
№ 1 (25)	<i>К. А. Сагалаев.</i> НА ИНДИГИРКУ – ЗА ТУМАНОМ И ФОЛЬКЛОРОМ
№ 2 (26)	<i>Н. Н. Покровский, О. Д. Журavelь.</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 СТАРООБРЯДЦЫ: 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 <i>Т. А. Лукиной</i>
№ 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. Социальные и обрядовые аспекты традиционной системы питания якутов



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 МЕРИАНА
№ 2 (32)	<i>В.И. Осмоловская.</i> «ЯСНОЙ СОЛНЕЧНОЙ НОЧЬЮ...» О жизни двух москвичек-зоологов в тундре Ямала в годы войны
№ 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. К юбилею академика <i>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-ДОНОСИЦА 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». К 300-ЛЕТИЮ <i>М.В. Ломоносова</i>
<b>ЭВОЛЮЦИЯ</b>	
2004	
№ 0	<i>Н.А. Колчанов.</i> ЛОВЧИЕ СЕТИ ЭВОЛЮЦИИ
№ 0	<i>В.А. Бердников.</i> СЛОЖНОСТЬ 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. О ранних стадиях зарождения и эволюции жизни
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. Родословная млекопитающих
№ 6 (24)	<i>А.Б. Птицын.</i> НЕЗАМЕТНЫЕ ТРУЖЕНИКИ. Микробные сообщества в геохимических системах
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. Карлов.</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
<b>ЭНЕРГЕТИКА</b>	
2005	
№ 2 (5)	<i>А.Э. Конторович.</i> ИСПОВЕДЬ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧИКА...
№ 2 (5)	<i>Э.П. Кругляков.</i> ЗВЕЗДНЫЕ РЕАКТОРЫ. На пути к термоядерной энергетике
№ 2 (5)	<i>Д.С. Стребков.</i> ПОД ЗНАКОМ ГЕЛИОСА. Перспективы развития солнечной энергетике
№ 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 ТОПЛИВОМУ ЭЛЕМЕНТУ
<b>НАУКА В КАРТИНКАХ</b>	
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
<b>ДЕТСКАЯ СТРАНИЦА</b>	
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. Репортаж <i>В. Короткоручко</i>
№ 5 (11)	<i>Я. Ливанов.</i> МОЕ ЭКСПЕДИЦИОННОЕ ЛЕТО

<b>НЕ НАУКОЙ ЕДИНОЙ</b>	
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. Остром, 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. Репортаж <i>В. Короткоручко</i>
№ 4 (10)	<i>А.Г. Толстиков.</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>
<b>МУЗЕИ И КОЛЛЕКЦИИ</b>	
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. Этнографический музей пос. <i>Шеркалы</i>
№ 5 (11)	<i>Е.Ф. Королькова.</i> ЗОЛОТО КОЧЕВНИКОВ. О «Сибирской коллекции» <i>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 ЭУЛЕРЪ». По материалам СПб филиала архива РАН
№ 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

# ГODOVЫЕ 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		
2004 г.					3 номера	<input type="checkbox"/>	130 руб.	
2005 г.	2 номера	100 руб.	<input type="checkbox"/>		2 номера	<input type="checkbox"/>	100 руб.	
2006 г.	6 номеров	420 руб.	<input type="checkbox"/>		7 номеров	<input type="checkbox"/>	490 руб.	
2007 г.	6 номеров	480 руб.	<input type="checkbox"/>		6 номеров	<input type="checkbox"/>	480 руб.	
2008 г.	6 номеров	540 руб.	<input type="checkbox"/>					
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"/>					
Коллекцию журналов по ЛЬГОТНОЙ цене: 37 номеров				4 690 руб.		18 номеров	<input type="checkbox"/>	1200 руб.

Тематические комплекты по ЛЬГОТНОЙ цене:

№ 1 «Эволюция и происхождение жизни»	7 номеров	500 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 2 «Археология»	15 номеров	1 530 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 3 «Вторая Камчатская экспедиция»	5 номеров	390 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 4 «История науки»	20 номеров	1 950 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 5 «Коренные народы Сибири»	11 номеров	1 050 руб.	<input type="checkbox"/>
№ 6 «Человек»	17 номеров	1 660 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 английском языке			цена одного номера, руб.					
2011 № 6 (42)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (41)	<input type="checkbox"/>	№ 4 (40)	<input type="checkbox"/>							
№ 1 (37)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (38)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (39)	<input type="checkbox"/>							
2010 № 1 (31)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (32)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (33)	<input type="checkbox"/>							
№ 4 (34)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (35)	<input type="checkbox"/>	№ 6 (36)	<input type="checkbox"/>							
2009 № 1 (25)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (26)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (27)	<input type="checkbox"/>							
№ 4 (28)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (29)	<input type="checkbox"/>	№ 6 (30)	<input type="checkbox"/>		130					
2008 № 1 (19)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (20)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (21)	<input type="checkbox"/>							
№ 4 (22)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (23)	<input type="checkbox"/>	№ 6 (24)	<input type="checkbox"/>		100					
2007 № 1 (13)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (14)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (15)	<input type="checkbox"/>							
№ 4 (16)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (17)	<input type="checkbox"/>	№ 6 (18)	<input type="checkbox"/>		90					
2006 № 1 (7)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (8)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (9)	<input type="checkbox"/>							
№ 4 (10)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (11)	<input type="checkbox"/>	№ 6 (12)	<input type="checkbox"/>		80					
2005 № 2 (5)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (6)	<input type="checkbox"/>									
				2007 № 1 (13)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (14)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (15)	<input type="checkbox"/>			
				№ 4 (16)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (17)	<input type="checkbox"/>	№ 6 (18)	<input type="checkbox"/>		90	
				2006 № 1 (6)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (7)	<input type="checkbox"/>	№ 3 (8)	<input type="checkbox"/>			
				№ 4 (9)	<input type="checkbox"/>	№ 5 (10)	<input type="checkbox"/>	№ 6 (11)	<input type="checkbox"/>	№ 7 (12)	<input type="checkbox"/>	80
				2005 № 1 (4)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (5)	<input type="checkbox"/>				60	
				2004 № 0 (1)	<input type="checkbox"/>	№ 1 (2)	<input type="checkbox"/>	№ 2 (3)	<input type="checkbox"/>		50	

2. Ф. И. О. \_\_\_\_\_

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

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

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

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

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

! В стоимость покупки не входят расходы на доставку журналов

При заказе 3 и более номеров журнала – скидка 5%

## ПОДПИСКА для ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ

Стоимость подписки на полугодие – 570 руб.  
Стоимость подписки на год – 1140 руб.

● Чтобы оформить подписку на 2012 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. 136

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

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

В стоимость подписки включена доставка журналов заказной бандеролью

# ПОДПИСКА для ЮРИДИЧЕСКИХ ЛИЦ

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



## Чтобы оформить подписку на 2012 г., заполните заявку:

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

## и вышлите ее по адресу:

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

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

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

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

## По всем вопросам обращаться:

Тел.: 8 (383) 330-27-22.

Факс: 8 (383) 330-26-67,

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

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

## Платежные реквизиты:

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

## Подписка по каталогам:

Каталог агентства  
«Роспечать» (стр. 269):  
индекс 46495  
Объединенный каталог  
«Пресса России» (стр. 389):  
индекс 42272; on-line: [www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru)

## Подписка on-line

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





Бриллиант чистой байкальской воды. Фото В. Короткоручко

ISSN 18-10-3960



9 71810 396003 42