

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

www.scfh.ru

5/6

5/6 ⁽⁸⁰⁾ ● 2018

НАУКА из ПЕРВЫХ РУК

№ 5/6 (80) 2018

ДОЧЬ ДЕНИСОВЦА
И НЕАНДЕРТАЛКИ

АЛТАЙ В ЦЕНТРЕ
ДРЕВНЕЙ ОЙКУМЭНЫ

КИТАЙ,
РАЗНЫЙ
И ВЕЧНЫЙ

КАШМИРСКИЙ
ДНЕВНИК

“Обращаясь
к Старому,
Открываешь
Новое”





Девочки округа Рамбан, Кашмир, Индия. Фото Н. Полосьмак

Территория штата Джамму и Кашмир – одно из тех мест, по которому прокатились все волны великих завоеваний. Труднодоступность и изолированность горных долин сохранили следы древних культур кочевников Центральной Азии. Их поиск является целью проекта, о реализации которого идет речь в статье Н. В. Полосьмак «Кашмирский дневник»

На первой странице обложки:

Проездная арка ворот Чжэньянмэнь – «Главные Солнечные ворота» (1419 г.), Пекин.

Терракотовая фигурка свиньи из Янлин, мавзолея императора Цзин-ди (157–140 гг. до н. э.) из династии Западная Хань.

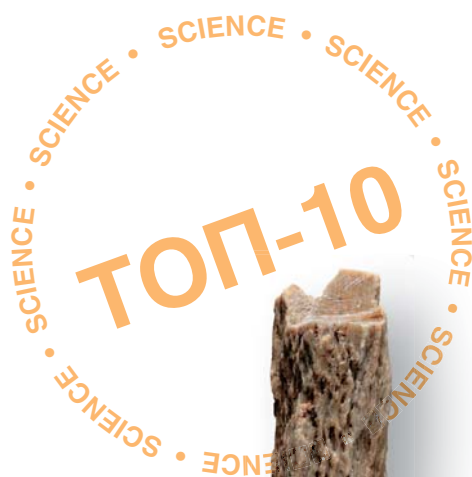
Слова «Обращаясь к старому, открываешь новое» принадлежат Конфуцию

5/6. 2018
научно-популярный журнал



НАУКА

из первых рук



В НОМЕРЕ:

Дочь денисовца и неандерталки,
по версии *Science*, – в десятке главных
научных прорывов года

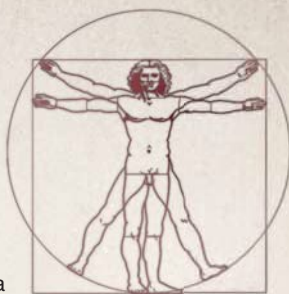
Катастрофические вулканические извержения,
влияющие на климат Земли, происходят чаще,
чем считалось, – в среднем один раз в столетие

По мнению лауреата премии «Глобальная
энергия» академика С. В. Алексеенко, наиболее
перспективным энергетическим источником
служит тепло земных глубин

Изучение алтайского палеолита «взорвало»
привычные представления о путях становления
современного человечества

Древний и современный, многогранный
и многоликий Китай глазами историка
и археолога

Познавательный журнал
для хороших людей



Редакционная коллегия

главный редактор
акад. *Н. Л. Добрецов*
заместитель главного редактора
акад. *В. И. Бухтияров*
заместитель главного редактора
акад. *В. В. Власов*
заместитель главного редактора
чл.-кор. *Н. В. Полосьмак*
заместитель главного редактора
акад. *В. Ф. Шабанов*
ответственный секретарь
Л. М. Панфилова
акад. *И. В. Бычков*
акад. *М. А. Грачев*
акад. *А. П. Деревянко*
акад. *А. В. Латышев*
к. ф.-м. н. *Н. Г. Никулин*
акад. *В. Н. Пармон*
акад. *Н. П. Похиленко*
чл.-кор. *М. П. Федорук*
акад. *М. И. Эпов*

Редакционный совет

акад. *Л. И. Афтанас*
акад. *Б. В. Базаров*
чл.-кор. *Е. Г. Бережко*
акад. *В. В. Болдырев*
акад. *А. Г. Дегерменджи*
проф. *Э. Краузе (Германия)*
акад. *Н. А. Колчанов*
акад. *А. Э. Конторович*
акад. *М. И. Кузьмин*
акад. *Г. Н. Кулипанов*
д. ф.-м. н. *С. С. Кутателадзе*
проф. *Я. Липковски (Польша)*
акад. *Н. З. Ляхов*
акад. *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*
акад. *А. М. Шалагин*
акад. *В. К. Шумный*
д. и. н. *А. Х. Элерт*

Над номером работали

к. б. н. *Л. Овчинникова*
Л. Панфилова
к. б. н. *М. Перепечаева*
Т. Морозова
А. Харкевич
к. ф. н. *Е. Игнатова*
А. Мистрюков

«Естественное желание хороших
людей – добывать знание»

Леонардо да Винчи

Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской
академии наук (СО РАН)

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

Институт археологии и этнографии
СО РАН

Лимнологический институт СО РАН

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

Институт химической биологии
и фундаментальной медицины СО РАН

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

ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

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

www.scfh.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 1 000 экз.

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

Дата выхода в свет 29.12.2018

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2018

© ООО «ИНФОЛИО», 2018

© Институт физики полупроводников
им. А. В. Ржанова СО РАН, 2018

© Институт археологии и этнографии
СО РАН, 2018

© Лимнологический институт СО РАН,
2018

© Институт геологии и минералогии
им. В. С. Соболева СО РАН, 2018

© Институт химической биологии
и фундаментальной медицины
СО РАН, 2018

© Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А. А. Трофимука
СО РАН, 2018

Дорогие друзья!

В канун Нового года пришла замечательная новость: два открытия российских ученых вошли в ТОП-10 крупнейших научных прорывов, который ежегодно составляет журнал Science. Примечательно, что оба они сделаны в области эволюционной биологии. Во-первых, с помощью анализа органики из окаменелых отпечатков удалось показать, что примитивные многоклеточные животные диккинсонии, появившиеся на Земле задолго до кембрийского «взрыва» жизни, не являются тупиковой ветвью эволюции. Во-вторых, открытие, также сделанное на основе окаменелостей, касается происхождения и становления современного человека: в Денисовой пещере в Горном Алтае ученые из новосибирского Института археологии и этнографии СО РАН обнаружили костные останки «гибрида» двух древних людей – неандерталки и денисовца.

Результаты палеогенетического анализа крошечного фрагмента кости, проведенного в лаборатории профессора Сванте Паабо (Институт эволюционной антропологии Общества Макса Планка, Лейпциг, Германия), с которым новосибирцы давно и успешно сотрудничают, стали первым непосредственным свидетельством скрещивания между этими двумя совершенно разными группами древних гоминид. В новом выпуске журнала академик А. П. Деревянко не только рассказал о подробностях этого открытия, но и подвел итоги многолетних археологических исследований в Горном Алтае, включая открытие ранее неизвестного первобытного человека, которое позволило по-новому взглянуть на саму историю современного человечества.

Одним из лауреатов престижной международной премии «Глобальная энергия» в 2018 г. стал академик С. В. Алексеев из Института теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН. В своей статье он сделал обзор работ новосибирских теплофизиков по созданию современных энергосберегающих технологий и экологически безопасных энергетических установок для большой и малой энергетики, работающих на ископаемом углеродосодержащем топливе. Особое внимание было уделено проблеме развития в России энергетики, базирующейся на возобновляемых источниках энергии, включая практически неиссякаемое «сухое» тепло земных глубин, и широко развивающейся сейчас во всем мире.



В новый выпуск журнала включены наши традиционные и рассчитанные на широкого читателя рубрики: «Энциклопедия экспедиций» и «Книжная полка». Вместе с геофизиками читатели смогут побывать на вулканах Камчатки, а также «поучаствовать» в археологических раскопках в зажатой между горными цепями Гималаев Кашмирской долине.

И, безусловно, много незабываемых впечатлений оставляет «путевые заметки» новосибирских историков, которым в ходе работ над исследовательскими проектами пришлось много путешествовать по Китаю – многонациональной и древней стране. Благодаря зоркому взгляду ученого читатель ощутит «пульс целой серии культурных пластов» Поднебесной в изгибах тропинок старинных парков и в бронированных стеклах представительских высоток, в экспозициях огромных музейных залов и во всей рвущейся вперед экономике страны, стремительно превращающейся в ведущую мировую державу. Страны, в которой на практике воплотилось одно из знаменитых изречений Конфуция: «Хочешь накормить человека один раз – дай ему рыбу. Хочешь накормить его на всю жизнь – научи его рыбачить».

Академик Н. Л. Добрецов,
главный редактор

A handwritten signature in black ink, which appears to be 'Добрецов'.



ТОП-10

Сеть сейсмических станций будет следить **ЗА ОПАСНЫМИ «СОСЕДЯМИ»** Петропавловска-Камчатского – **ВУЛКАНАМИ** Авачинской группы **С. 54**

У **СИГОВЫХ РЫБ БАЙКАЛА** шумовое **ЗАГРЯЗНЕНИЕ** может приводить к временной или постоянной **ПОТЕРЕ** слуха и **НАРУШЕНИЯМ** поведения **С. 80**



.01

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

- 06 *Дочь денисовца и неандерталки*
- 14 ***А. П. Дервянко**
Алтай в центре древней ойкумены*

.02

НАУКА – ОБЩЕСТВУ

- 34 ***С. В. Алексеенко**
Тепло и свет нашему дому*

.03

ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ

- 54 ***И. Ю. Кулаков**
Камчатская вулканическая одиссея: от Безымянного до Авачи*
- 74 ***Н. Л. Добрецов**
Катастрофические извержения вулкана – готово ли к ним человечество?*





«**ЯДЕРНАЯ**» томографическая диагностика визуализирует не анатомические структуры, а процессы **МЕТАБОЛИЗМА КЛЕТОК** С. 92

Окрашенный **ТЕКСТИЛЬ** из «замерзших» погребений **ПАЗЫРЫКЦЕВ ГОРНОГО АЛТАЯ** – яркое свидетельство связи этой культуры с древнейшими **ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ БЛИЖНЕГО ВОСТОКА** С. 100

Зоолог, писатель и художник **А. Н. ФОРМОЗОВ**: «Творчество, описывающее природу, можно **ЛЮБИТЬ** так же, как и саму **ПРИРОДУ**. Без первого обойдусь, без второго – никак...» С. 168

.04

БАЙКАЛ КАК ПРИРОДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

80 *Ю. П. Сапожникова*
И рыбы уши имеют

.05

ЧЕЛОВЕК

92 *Н. В. Денисова*
«Ядерная» диагностика: увидеть невидимое

.06

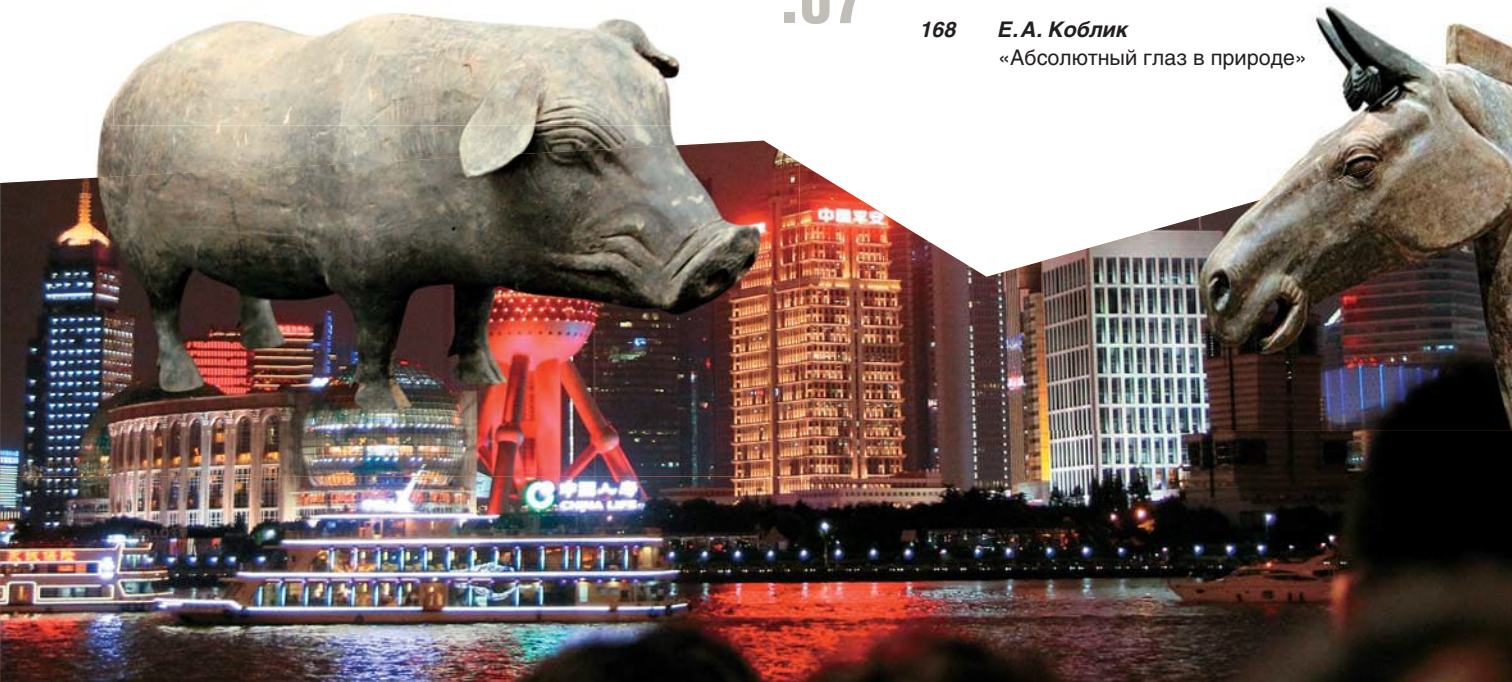
ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ

100 *Н. В. Полосьмак*
Кашмирский дневник
122 *С. А. Комиссаров, А. И. Соловьев, М. А. Кудинова*
Китай, разный и вечный

.07

КНИЖНАЯ ПОЛКА

168 *Е. А. Коблик*
«Абсолютный глаз в природе»



И НЕАНДЕРТАЛКИ

В декабрьском выпуске журнала *Science* опубликован список десяти самых выдающихся научных прорывов минувшего года. В эту «горячую десятку» вошли и результаты палеогенетического исследования костного фрагмента, обнаруженного в 2012 г. в Денисовой пещере в Горном Алтае. Оказалось, что эта ископаемая косточка принадлежала прямому потомку представителей двух групп древних людей – денисовцев и неандертальцев. Открытие было обнародовано на международном симпозиуме «Истоки верхнего палеолита в Евразии и эволюция рода *Homo*», прошедшем в июле 2018 г. на научно-исследовательском стационаре Института археологии и этнографии СО РАН, в непосредственной близости от Денисовой пещеры, места обнаружения уникальной находки. Благодаря многолетнему сотрудничеству с новосибирскими археологами сотрудники журнала «НАУКА из первых рук» смогли не только присутствовать на симпозиуме, но и стать свидетелями смены научной парадигмы в эволюционной биологии человека, что во многом стало следствием изучения алтайских находок



В начале июля 2018 г. на стационаре «Денисова пещера» Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск) собрались ведущие археологи, генетики, палеонтологи и антропологи России, США, Германии, Великобритании, Франции, Хорватии, Израиля, Канады и Австралии



Член-корр. РАН М. В. Шуньков, директор ИАЭТ СО РАН и руководитель самого крупного в России археологического научно-исследовательского стационара «Денисова пещера», представляет участникам симпозиума древнейшую в Азии палеолитическую стоянку Караму

Самые весомые доводы в поддержку мультирегиональной концепции эволюции человека базировались на данных многолетних масштабных исследований на российском Алтае, которые в свое время начал академик А. П. Окладников. Междисциплинарное изучение алтайского палеолита позволило сделать вывод, что культурные традиции эволюционировали в течение как минимум 300 тыс. лет без заметных признаков внешних влияний, включая становление верхнего палеолита 50—40 тыс. лет назад. Но что из себя представляли люди, изготавливавшие типичные для ранней стадии верхнего палеолита изделия и украшения раньше, чем обитатели Европы?

К сожалению, алтайский палеолит скуп на антропологические находки, которые к тому же представлены редкими находками зубов и фрагментарными обломками костей, что не позволяет воссоздать облик их обладателей. В 2005 г. академик Деревянко писал: «Самые смелые надежды – найти на Алтае скелет человека эпохи палеолита. У нас есть небольшие палеоантропологические находки, которые в настоящее время изучаются в Институте эволюционной антропологии Макса Планка в Лейпциге, – зубы, кусочек кости. Но полный скелет – это и есть, пусть и специфическая, но самая заветная мечта археолога». Полный скелет ископаемого человека на Алтае пока не удалось обнаружить, но, тем не менее, действительность превзошла самые смелые ожидания (Shunkov, Derevyanko, 2018)



Перед докладом: научный руководитель (с 1983 по 2015 г. – директор) ИАЭТ СО РАН, академик РАН А. П. Деревянко с руководителем раскопок в Денисовой пещере, к. и. н. М. Б. Козликиным. Горный Алтай, 2018





Выступает профессор М. Волпоф из Университета Мичигана (США) – один из первых сторонников гипотезы о полицентрическом происхождении человека. *Горный Алтай, 2018*

10

Хотя и сегодня немало людей уверены в божественном акте творения человека, за последние сто с лишним лет наука накопила множество убедительных свидетельств длительной и постепенной эволюции наших очень далеких предков, которые отделились от общего с человекообразными обезьянами эволюционного ствола около 6–7 млн лет назад. При этом процесс становления человека оказался далеко не таким простым и однозначным, как он представлялся первым исследователям.

Ясность в эту картину смогла внести новая наука, сформировавшаяся в 1980-х гг. на стыке молекулярной биологии, классической археологии и палеонтологии, – *палеогенетика*. Теперь ученые смогли выделять и проводить идентификацию последовательностей ДНК из ископаемых останков, что дало возможность изучать вымершие виды и исчезнувшие с лица Земли популяции организмов, включая предков человека.

Еще совсем недавно одним из наиболее вероятных кандидатов на роль наших предков считался *неандерталец*, который по объему головного мозга не уступал

современному человеку и был хорошо приспособлен к условиям умеренных широт. Но в результате первых палеогенетических исследований митохондриальной ДНК из ископаемых костных останков неандертальцы были признаны тупиковой ветвью человечества. Реабилитированы они были лишь в начале нового тысячелетия благодаря появлению передовых технологий секвенирования ДНК, с помощью которых удалось «прочитать» ядерную ДНК и доказать, что геном среднестатистического человека с неафриканскими «корнями» имеет 1–2% генов неандертальского происхождения.

Костные антропологические останки неандертальцев, проанализированные в Институте эволюционной антропологии Общества Макса Планка (Лейпциг, Германия), включали и образцы из алтайских пещер, Денисовой и Окладникова, благодаря «пещерному» климату отличающиеся прекрасной сохранностью. Среди них была и небольшая косточка из Денисовой пещеры – фаланга мизинца ребенка, результаты анализа которой стали настоящей сенсацией.



На экскурсии в Денисовой пещере. В центре – В. Слон, сотрудница лаборатории профессора С. Паабо. Ее доклад был посвящен сенсационным результатам секвенирования ДНК «Денисовой-11». Горный Алтай, 2018

Вот как писал об этом открытии директор лаборатории эволюционной генетики С. Паабо: «Весной 2009 г. мы получили еще один фрагмент кости от Анатолия [Деревянко], который был найден в предыдущем году в Денисовой пещере... Кость была крохотной, и я не придавал ей большого значения, решив только, когда будет время, проанализировать ее на предмет содержания мтДНК... 3 декабря 2009 г. я посетил встречу, посвященную геному крысы. Однажды, когда я направлялся из столовой в лекционный зал, зазвонил мой сотовый. Это был Йоханнес Краузе из Лейпцига, странно возбужденный. Я спросил его, что случилось. Он в свою очередь спросил, сижу ли я, и сказал, что мне лучше сесть перед тем, как я услышу новость...». Этой потрясающей новостью стало открытие нового, неизвестного науке вида

человека, которое буквально перевернуло устоявшиеся к тому времени представления о происхождении и эволюции *Homo sapiens*.

Палеогенетический анализ ископаемых костных останков *денисовского человека* показал, что он, как и неандерталец, оставил свой «след» в геноме многих современных человеческих популяций. А судя по генетическому разнообразию, в каменном веке именно денисовцы составляли основное население Северной Азии.

Находки костных останков в одних и тех же культурных слоях Денисовой пещеры говорят о том, что денисовцы и неандертальцы обитали в этой местности в одно и то же время. Но вот какими были их взаимоотношения? Однозначно ответить на этот вопрос трудно, но последняя находка многое прояснила.

«Денисова-11» – это маленькая кость, для которой даже не удалось установить точное местонахождение в скелете. Путем сравнения ее с известными длинными костями неандертальцев и современного человека удалось определить, что она принадлежала особи не моложе 13 лет. Секвенировав ядерную ДНК, извлеченную



Профессор С. Паабо из Института эволюционной антропологии Общества Макса Планка (Германия) рассказывает о расшифровке древней ДНК из ископаемых костных останков денисовского человека. *Горный Алтай, 2018*

из образца, ученые установили, что речь идет о молодой девушке, в геноме которой имелось около 42% денисовских генов и 39% неандертальских. Другими словами, среди своих предков она имела представителей двух древних групп, причем в равных пропорциях. Судя по степени *гетерозиготности* (нуклеотидным различиям) генома, в нем имелось два разных набора родительских хромосом: один – от денисовца, а другой – от неандертальца. И с учетом митохондриальной ДНК, которая всегда наследуется по материнской линии, можно утверждать, что денисовец был ее отцом, а неандерталка – матерью.

Более того, исследования показали, что в роду у самого папы-денисовца много поколений назад также был, по крайней мере, один неандертальский предок. А мама оказалась генетически более близкой к неандертальцам из хорватской пещеры Виндия, а не к своим алтайским «соседям», т. е. могла принадлежать к группе относительно недавних переселенцев из Восточной Европы. Возможно, это говорит о существовании миграций этих древних людей между восточной и западной Евразией.

Найти прямое доказательство успешного скрещивания между разными представителями древних людей, чьи эволюционные пути разошлись более чем 390 тыс. лет назад, – событие само по себе уникальное. находка же гибрида первого поколения среди небольшого количества изученных древних образцов означает, что подобное смешивание между группами позднплейстоценовых гомининов было обычным явлением.

Благодаря палеогенетическим исследованиям сегодня мы знаем, что неандертальцы также смешивались с предками современных неафриканцев и, возможно, с более ранними предками современных людей, а денисовцы –

«Денисова-11», фрагмент ископаемой кости длиной около 2,5 см, обнаруженный в восточной галерее Денисовой пещеры. Возраст кости, согласно радиоуглеродному датированию, составляет более 50 тыс. лет.
Фото Т. Хайама

Алтай в центре древней Ойкумены

Кто мы? Где, когда и как мы появились? Проблема происхождения современного человечества, то есть нас с вами, сегодня волнует не только ученых, но и очень широкий круг людей. И этот интерес подогревается поразительными открытиями, сделанными в последние десятилетия. Немалый вклад в эти открытия внесли исследователи из новосибирского Института археологии и этнографии СО РАН. География палеолитических памятников, на которых работают сибирские археологи, впечатляет: Сибирь и сопредельные страны, от Монголии до Кыргызстана, Дагестан, Европа, Вьетнам... Но все же настоящим кладом уникальных находок оказался российский Алтай. По просьбе редакции журнала «НАУКА из первых рук» академик РАН А.П. Деревянко рассказал о многолетних мультидисциплинарных исследованиях алтайского палеолита, который подарил миру уже не одну археологическую сенсацию



А. П. ДЕРЕВЯНКО

Долина р. Ануй, левого притока Оби, протекающего по территории Республики Алтай и Алтайского края. Здесь, недалеко от устья р. Каракол, находится Денисова пещера (справа). Фото С. Зеленского



© А. П. Деревянко, 2018



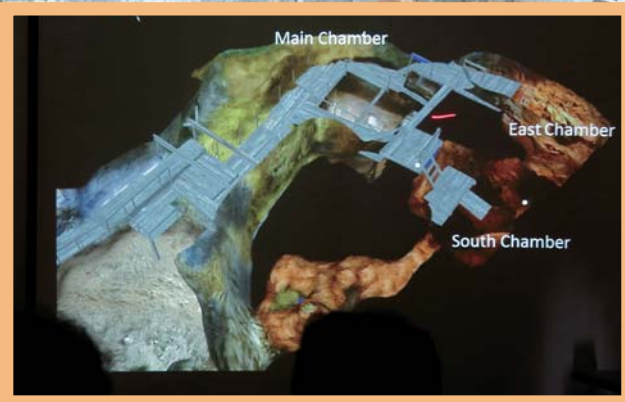
ДЕРЕВЯНКО Анатолий Пантелеевич – академик РАН, доктор исторических наук, научный руководитель Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск), профессор кафедры всеобщей истории Гуманитарного института Новосибирского государственного университета. Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники (2003, 2013), Демидовской премии (2004), Премии им. М. А. Лаврентьева (2005) и др. Награжден орденами «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2002), «Петра Великого» I степени (2007); Большой золотой медалью им. М. В. Ломоносова (2014) и другими наградами. Автор и соавтор более 1000 научных работ, в том числе более 100 монографий

Ключевые слова: эволюция человека, полицентризм, моноцентризм, неандерталец, денисовец, человек современного типа, палеогенетика.

Key words: human evolution, multi-regional theory of human origin, “Out-of-Africa” theory, Neanderthal, Denisovan, anatomically modern humans, paleogenetics

© А. П. Дервянко, 2018

Один из важнейших вопросов современной археологии и антропологии – каким образом сформировался человек современного физического типа, с его генотипом и анатомией? Примерно до 1970–1980-х гг. существовала достаточно стройная линейная гипотеза о его происхождении: от австралопитеков до неандертальцев как непосредственных предшественников нынешнего человечества. Эта идея нашла себе мощное подтверждение в результатах исследований генома наших современников. В 1987 г. в статье, опубликованной в журнале *Science*, было достаточно убедительно доказано, что человек современного физического типа «родился» в Африке, как и древний человек прямоходящий (*Homo erectus*), который вышел из «колыбели» человечества около 1 млн 800 тыс. лет назад, чтобы начать осваивать огромные территории Евразии.



«Африканская» гипотеза вызвала оживленные дискуссии среди ученых, занимающихся эволюцией человека, от антропологов до генетиков. Было высказано много разных точек зрения, новых идей, пусть и не всегда проработанных. К концу прошлого века сложились две основные гипотезы. Первая исходила из того, что люди современного анатомического вида сформировались в Африке около 200–100 тыс. лет назад, а 80–60 тыс. лет назад они начали свой исход на евразийский континент. По поводу результатов последнего переселения мнения также разделились. Согласно одной точке зрения, пришельцы уничтожали или замещали коренное население. По другой – более гуманистической – отношения пришлого и местного населения были комплементарными: между ними шла аккультурация и, возможно, даже гибридизация.

В соответствии со второй, *мультирегиональной* гипотезой, становление человека современного физического типа происходило не только в Африке, но и на всех территориях, заселенных эректусами и последующими человеческими формами в результате

действия естественного отбора и генного обмена между популяциями.

Фото М. Козликина

Справа внизу: цифровая 3D-модель Денисовой пещеры: ее центральный, восточный и южный залы. «Триметари Консалтинг» (Санкт-Петербург)

Эти две на первый взгляд альтернативные гипотезы какое-то время широко обсуждались на различных конференциях и симпозиумах, страницах статей и книг...

Сегодня в наших взглядах на историю человечества очень многое изменилось. И большую роль в этом сыграли результаты исследований в Горном Алтае, которые наш институт ведет уже несколько десятилетий, в первую очередь в Денисовой пещере – одном из самых уникальных древних местонахождений Северной Азии. В ходе стационарных работ, продолжающихся

здесь с 1983 г., было сделано много открытий (например, находки останков ранее неизвестного древнего гоминида – *человека алтайского*), позволивших по-новому взглянуть на истоки современного человечества.

Плоды научной кооперации

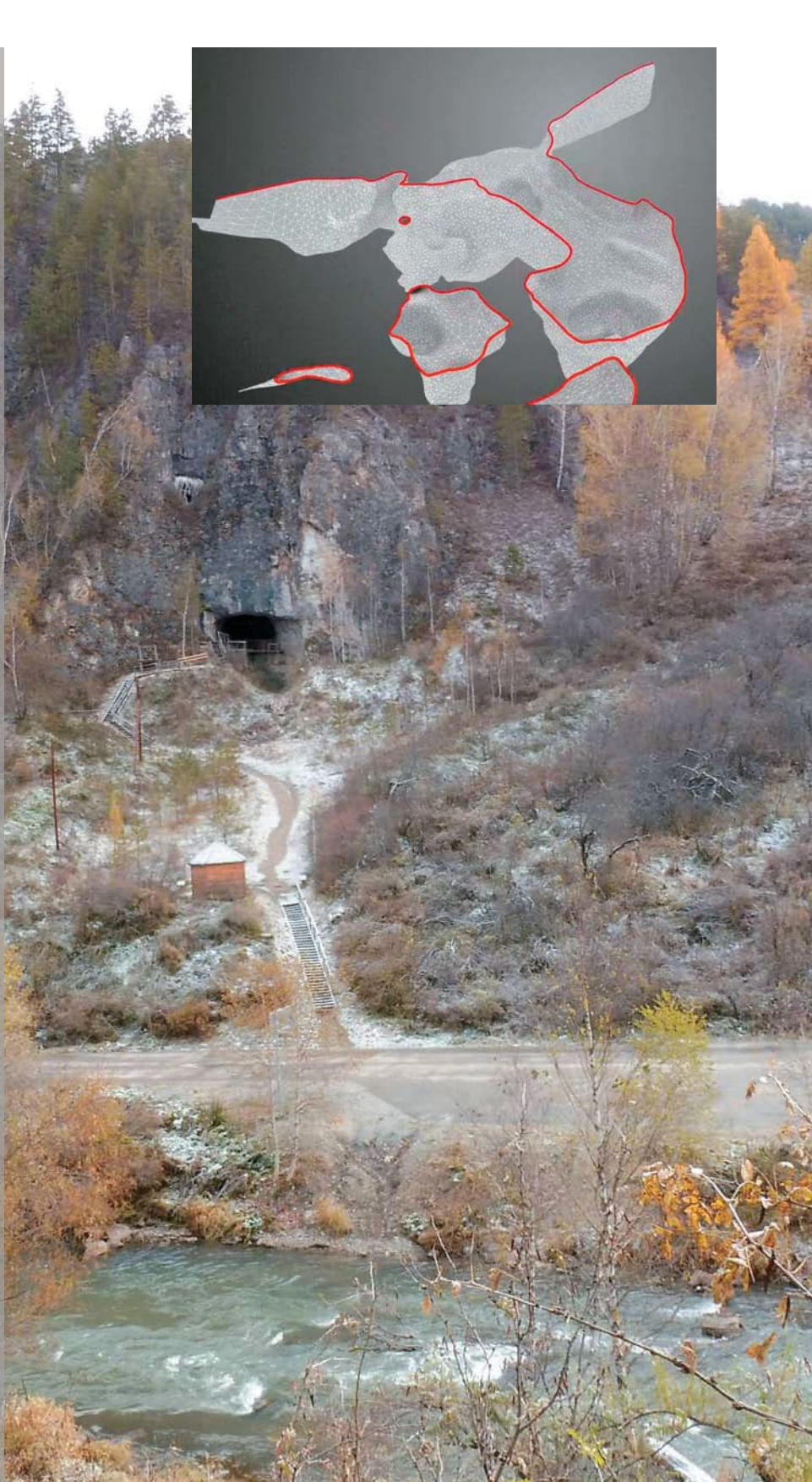
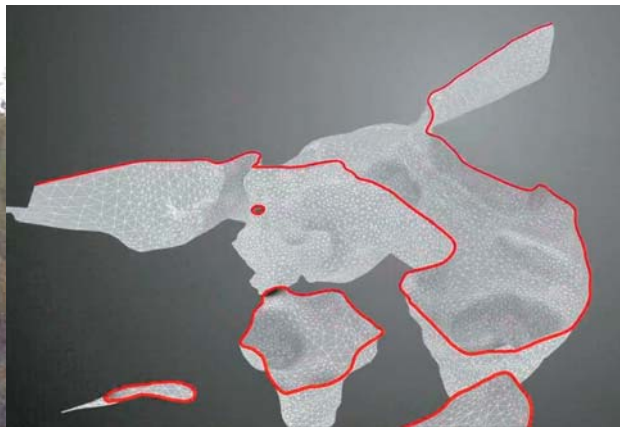
Сегодня слова «Алтай», «Денисова пещера», *Homo altaensis* хорошо известны во всем мире, и не только ученым, занимающимся проблемой происхождения человека, но и журналистам, широкому кругу образованных и любознательных людей.

Я убедился в этом, когда недавно посетил гонконгский университет. Узнав, что я имею непосредственное отношение к исследованию в Денисовой пещере, мои собеседники начинали не только задавать вопросы, но и давать советы, рекомендации. При этом упоминались такие детали, которых на самом деле и не было. Как говорится, молва расходится по свету, и вокруг открытия денисовского человека уже сложилась целая мифология.

Конечно, это хорошо, что наша Денисова пещера приобрела такую известность, но мы проводили и сейчас ведем стационарные работы еще в 9-ти пещерах и на 11 стоянках открытого типа! В результате удалось собрать огромный материал, позволяющий проследить большой этап развития духовной и материальной культуры человека. При этом мы работаем в очень тесном сотрудничестве с широким кругом специалистов в естественных

Узкая, защищенная горными хребтами речная долина в верхнем течении Ануя, богатая растительными и животными ресурсами, стала для первобытного человека настоящим «оазисом».

Фото М. Козликина



Одной из важнейших археологических находок за последние несколько десятилетий стала открытая новосибирскими археологами палеолитическая стоянка Карамы в долине р. Ануй в Горном Алтае. Это уникальное древнее местонахождение служит реальным свидетельством того, что человек, а конкретнее, *Homo erectus*, появился здесь не позднее, чем 800 тыс. лет назад. С учетом того, что Карамы находится на 52° с. ш., ее можно смело назвать самой северной стоянкой того времени. Еще одна подобная стоянка обнаружена в Англии, но там, у берегов, проходит Гольфстрим, у нас же в Сибири климатические условия были гораздо менее комфортными. Так что этот наш непосредственный, пусть и далекий, предок обладал достаточными когнитивными способностями, чтобы адаптироваться к ситуации, которая в тот момент существовала в плейстоцене так далеко к северу



В 2012 г. был реализован проект «Виртуальная Денисова пещера на Алтае», в результате которого создана 3D-цифровая модель самой пещеры и обнаруженных в ней находок, а также программное обеспечение для интерактивной визуализации этой информации. Вверху – вход в Денисову пещеру, внизу – ее центральный зал. 3D-презентация компании «Триметари Консалтинг» (Санкт-Петербург)





науках: геологами, геоморфологами, геохронологами, палеонтологами, антропологами, палеоботаниками... Такое сотрудничество позволило достаточно детально реконструировать природно-климатические условия, которые существовали там десятки и сотни тысяч лет назад.

Важность подобных данных трудно переоценить, так как в эпоху плейстоцена климат на планете подвергался большим изменениям, которые, безусловно, оказывали огромное влияние на формирование растительности и животного мира. И все это имело непосредственное отношение к самому человеку, так как определяло характер его расселения и технологический прогресс. Достаточно сказать, что в хронологическом интервале от 90 до 120 тыс. лет назад условия среды на территории Алтая были намного более комфортными, чем в наши дни. Например, средние температуры были выше на 5–6 градусов, благодаря чему здесь успешно произрастали широколиственные деревья и другие теплолюбивые растения.

Общая площадь Денисовой пещеры – 270 м². Из центрального зала расходятся вглубь карстового массива восточная и южная галереи, полностью перекрываясь рыхлыми отложениями. *Справа – раскопки в восточной галерее. Фото С. Зеленского*

3D-модели участков Денисовой пещеры (сверху вниз): центрального зала, предвходовой площадки, входа в восточную галерею и южной галереи. 3D-презентация компании «Триметари Консалтинг» (Санкт-Петербург)



Уникальность Денисовой пещеры в том, что в ней, как нигде в мире, великолепно сохраняется органический материал. К примеру, я привез из Вьетнама, где мы работаем уже 10 лет, 12 костных образцов возраста 12–15 тыс. лет. Но ни из одной косточки не удалось извлечь древнюю ДНК, пригодную для секвенирования, – все съели микробы. Именно благодаря высокой сохранности ископаемого антропологического материала из Денисовой пещеры удалось достичь самого большого покрытия неандертальского генома – намного большего, чем по всем находкам, сделанным на Балканах



От пещеры к противоположному берегу Ануя протянуты тросы, по которым добытый материал спускают на промывку, просеивание и сортировку. *Вверху* – переборка отмытой крупной фракции плейстоценовых отложений под руководством профессора А. К. Агаджаняна (ПИН РАН, Москва); *внизу* – кость грызуна в отмытой мелкой фракции. *Фото С. Зеленского*



Бивень мамонтенка из 12-го слоя южной галереи Денисовой пещеры. *Фото С. Зеленского*



В пещерной галерее, где нашли останки Денисова-11, за восемь лет было обнаружено свыше 130 тыс. костей, преимущественно мелких, из которых пока не опознано 120 тыс. Такое большое число костных останков свидетельствует о том, что денисовцы предпочитали мясную пищу и много охотились, а затем раскалывали кости, чтобы добывать костный мозг. Вероятность найти среди этого материала еще какое-то количество антропологических останков крайне мала, так как специалисты практически сразу могут определить, кому принадлежала кость – человеку или животному. Определение же видового состава – сложная проблема, потому что все эти кости сильно фрагментированы

Уже за первые восемь-десять лет работы в Денисовой пещере и на других алтайских палеолитических местонахождениях было собрано огромное число артефактов, включая каменные и костяные орудия и украшения, выполненные на очень высоком технологическом уровне. Все они свидетельствовали о том, что 30–50 тыс. лет назад на этой территории существовала высокоразвитая культура. Тогда у нас не было сомнений, что все эти находки относятся к человеку современного анатомического вида. И когда в 2010 г. в палеогенетической лаборатории профессора С. Паабо (Институт эволюционной антропологии Общества Макса Планка, Германия) был проанализирован небольшой фрагмент фаланги человеческого мизинца, найденного в 11-м слое Денисовой пещеры, то результаты оказались совершенно ошеломительными!

Здесь важно отметить, что, хотя каждый полевой сезон продолжается не менее трех месяцев, за все эти годы из полости Денисовой пещеры было вынута не так много



Работы в камеральной лаборатории стационара «Денисова пещера».
Фото С. Зеленского

Ископаемые находки из 12-го слоя южной галереи Денисовой пещеры: рог козули (вверху) и нижняя челюсть пещерной гиены (справа).
Фото С. Зеленского



материала, как при обычных землекопных работах. Ведь требуется очень много времени, чтобы тщательно и кропотливо просмотреть буквально каждый грамм, каждый сантиметр вынутого грунта – только так можно обнаружить мельчайшие находки, такие как обломки кости.

И, надо сказать, эти усилия полностью себя оправдали. Расшифровка ДНК, полученной из крошечного костного фрагмента, показала, что эта кость принадлежала особи, которая относится не к человеку современного физического типа и даже не к неандертальцу, а к совершенно новой популяции.

Конечно, это была мировая сенсация, за которой последовали публикации в ведущих мировых научных журналах, таких как *Nature* и *Science*.

Четыре в одном

Как уже говорилось, находки в Денисовой пещере сыграли решающую роль в изменении наших взглядов на происхождение современного человека. Казалось бы, с этими открытиями каждая из двух гипотез, моно- и полицентрическая, получила подкрепление. Однако они дали основание и объединить их.



Типичные изделия раннего этапа верхнего палеолита, обнаруженные в 11-м слое южной галереи Денисовой пещеры (возрастом 50–40 тыс. лет): бусины из мрамора, талька и серпентина (вверху), фрагмент подвески из зуба и пронизки из костей животных (внизу). Фото А. Федорченко

Древняя материально-духовная культура денисовцев является и одной из самых ярких. Недаром до открытия денисовцев мы считали, что она оставлена человеком современного физического типа, потому что по всем критериям соответствует эпохе верхнего палеолита в Европе. Но сформировалась эта культура намного раньше – около 50 тыс. лет назад. Нигде в мире не обнаружена другая развитая палеолитическая индустрия такой древности, как не найдено и такое большое число различных предметов труда и быта из кости, включая украшения.

Об уровне развития этой культуры может много рассказать один только факт находки костяных игл, которых было обнаружено более десяти штук. Тонкость и буквально ювелирная обработка одной, практически целой иглы, обнаруженной два года назад, говорят не только о том, что древний человек уже шил одежду. Но что шил он ее не из грубых шкур, а, к примеру, из шкур мелких животных великолепной выделки. Не исключено, что использовался и какой-то растительный материал: известно, что уже в раннем неолите (6–7 тыс. лет назад) нанайцы сооружали из волокон конопли и крапивы великолепные сети. Вот так любая археологическая находка может дать много интересной информации



В этом смысле большое значение имеют результаты расшифровки ДНК неандертальцев, в том числе обнаруженные в Денисовой пещере. Сначала этот первобытный человек был вычеркнут из нашей родословной, потому что его гены не удалось обнаружить в геноме современных людей. Однако впоследствии ископаемая неандертальская ДНК была секвенирована в лаборатории Паабо с использованием более совершенных методов, и оказалось, что представитель современного неафриканского человечества имеет около 2% генов неандертальцев. Много это или мало?



«Карандаш» из минерального пигмента и мраморная галька со следами охры (справа), а также костяной наконечник (слева), обнаруженные в 11-м слое южной галереи Денисовой пещеры. Все эти находки относятся к раннему этапу верхнего палеолита. Фото А. Федорченко

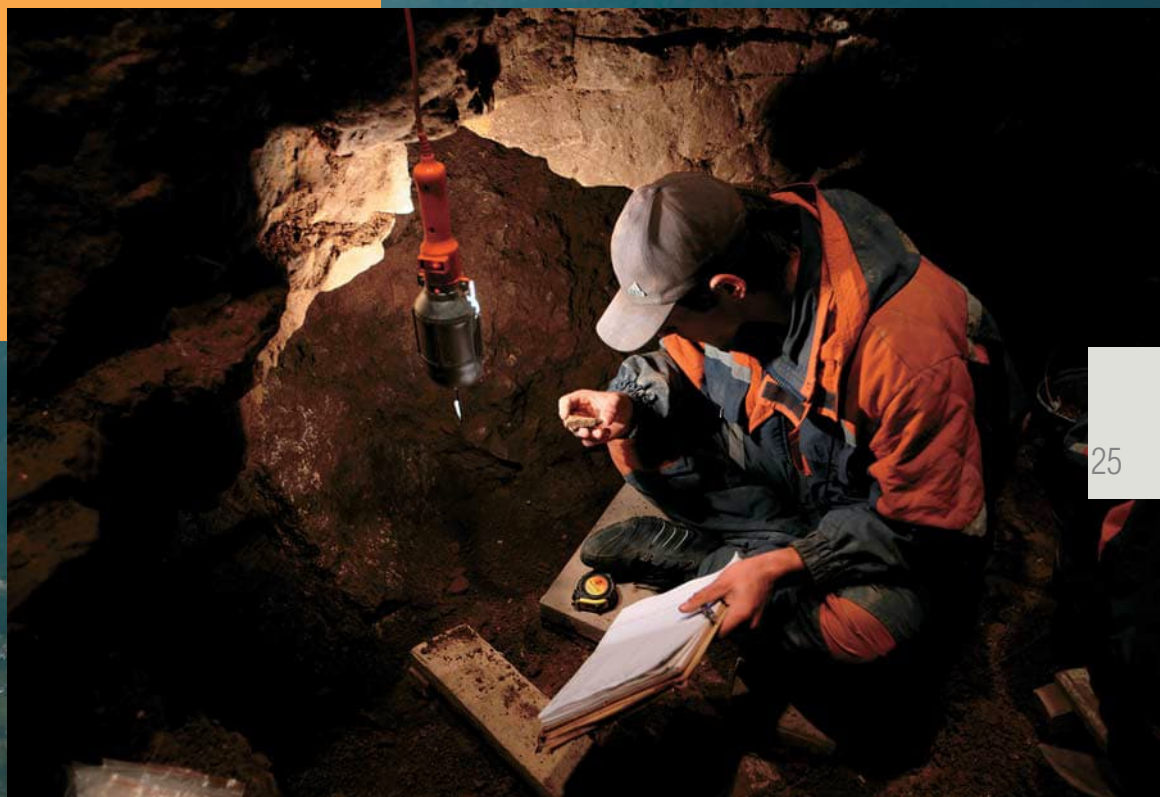


Фото С. Зеленского



Ведущие специалисты радиоуглеродного датирования Т. Хайм и К. Доука (Оксфордский университет, Великобритания) за работой в Чагырской пещере – месте обитания неандертальцев. Фото С. Зеленского

Недавно были опубликованы результаты секвенирования ДНК из останков современного человека с археологической стоянки Пештера-ку-Оасе в Румынии, который жил примерно 40 тыс. лет назад. Оказалось, что в его геноме доля неандертальца составляла более 9%! Не исключено, что когда-то она могла быть и выше. Со временем, естественно, геном менялся, и часть неандертальских генов была утрачена. Все это указывает на то, что неандертальцы принимали непосредственное участие в формировании современного человека. Как,

кстати, и наши денисовцы, доля которых в геноме современных человеческих популяций юго-востока Азии составляет 3–5%.

В свете этих данных эволюцию человека трудно назвать линейной. Уверен, что к нашему становлению «приложил руку», помимо неандертальца и денисовца, и тот человек, который сформировался в Восточной и Юго-Восточной Азии, где мы наблюдаем свидетельства хорошо выраженного последовательного развития каменной индустрии. Пока еще не найдены останки и не



ПРОФЕССОР С. ПААБО

*Из дискуссии на Международном симпозиуме.
Горный Алтай, июль 2018 г.*

Анализ древней ДНК из ископаемых костных останков человека из Денисовой пещеры проведен в лаборатории профессора С. Паабо в Институте эволюционной антропологии Общества Макса Планка (Лейпциг, Германия). На фото – выступление С. Паабо на международном археологическом симпозиуме. Горный Алтай, июль 2018 г. Фото С. Зеленского

Ситуация с денисовцами на сегодня нестандартная: кроме генетических данных, у нас на них практически ничего нет, за исключением немногих зубов и маленьких косточек, да небольшого, достаточно толстого фрагмента черепа.

На основе этих данных мы можем говорить, что неандертальцы и денисовцы имеют общее происхождение, и разделились они приблизительно около полумиллиона лет назад. Исходя из генетического вклада денисовцев в людей других групп, можно сделать осторожное предположение, что денисовцев было больше, и что они представляли собой более интересную человеческую популяцию.

Предположительно два, а скорее всего, три раза произошел массивный приток генов денисовцев в геном современного человека. Дело в том, что среди самих денисовцев можно выделить две группы, которые генетически сильно различались между собой. Именно этим можно, вероятно, объяснить такую высокую (в среднем 4.8%) долю генов денисовцев в современном населении Меланезии. Мы также знаем, что денисовцы скрещивались не только с современными людьми, но и с неандертальцами. Но я совершенно уверен, что в первом случае этот процесс шел гораздо успешнее. Исследования генетического наследия современного человека свидетельствуют о большем вкладе денисовцев, которые передали нам несколько очень важных и нужных черт, таких как адаптация к жизни в суровых климатических условиях

выделена ДНК этого «восточного человека», но, судя по находкам орудий труда, он пришел на север Китая из Монголии, скорее всего, из Монгольского Алтая. Я убежден, что в антропологических находках этой территории будут обнаружены денисовские корни. А останки этого пока неизвестного подвида человека обязательно обнаружат как в самом Китае, так и в других восточноазиатских регионах.

Гипотеза, что *Homo sapiens* сформировался из четырех подвидов, активно обсуждается. Конечно, стволовая линия развития – это, как и прежде, Африка, откуда первобытные люди расселялись по огромной территории Евразии. И в конечном счете где-то 50–30 тыс. лет назад в результате миграций и обмена генами между разными человеческими популяциями сформировались мы с вами.

Денисова пещера как международная лаборатория

Сейчас мы находимся на новом этапе раскопок в Денисовой пещере и исследований палеолита Алтая в целом. Летом 2018 г. мы провели здесь уже второй специальный симпозиум, посвященный проблеме перехода от среднего к верхнему палеолиту, в том числе обсуждали новые результаты, полученные при анализе материалов «Дениски». На симпозиум были приглашены ученые примерно из десяти стран, при этом мы не стремились к расширению числа участников, а постарались собрать ведущих специалистов, работающих с этой проблемой.

За три года, прошедших с предыдущего собрания, нам удалось сделать очень многое. Во-первых, мы получили большую серию точных датировок, что совершенно необходимо для подтверждения любой гипотезы, связанной с древним



Украшения из бивня мамонта, относящиеся к раннему этапу верхнего палеолита, обнаруженные в 11-м слое южной галереи Денисовой пещеры: фрагменты диадемы (вверху) и кольцо (внизу). Фото А. Федорченко



АКАДЕМИК А. П. ДЕРЕВЯНКО.
Из дискуссии на Международном симпозиуме.
Горный Алтай, июль 2018 г.

У археологов нет четкого определения «верхнего палеолита», так же как у антропологов нет четкого определения, что такое «человек современного вида». Ближний Восток дает нам много примеров постоянного смешивания среднепалеолитических культурных традиций с позднепалеолитическими, что могло быть следствием меняющихся экологических условий. Временной интервал 60–40 тыс. лет предшествовал последнему ледниковому периоду,



Начало работ в южной галерее Денисовой пещеры.
Фото С. Зеленского

однако и в это время, как и всегда, климат претерпевал межвековые и внутривековые изменения, когда похолодания сменялись потеплениями, и наоборот. В Денисовой пещере верхнепалеолитические орудийные формы появляются в слоях отложений, датированных возрастом около 100 тыс. лет, и число их растет по мере продвижения вверх. В 12-м слое они составляют заметную часть всех найденных каменных орудий. А в более «молодом» 11-м слое (50–40 тыс. лет) верхнепалеолитический

набор уже преобладает. Там же обнаружено и большое число украшений и изделий из кости, что позволяет отнести этот слой к верхнему палеолиту. Среди них – такой очень важный элемент материальной культуры, как костяные иглы, свидетельствующие об умении шить. А уникальные украшения – каменное кольцо и хлоритолитовый браслет, носящие следы шлифовки и полировки, – доказывают, что человек овладел этими техническими приемами намного раньше, чем считалось



Для палеолитических слоев Денисовой пещеры уже получено около 170 датировок с использованием различных методов в лабораториях Европы и США. Судя по последним данным, пещера была заселена более чем 300 тыс. лет назад.

На фото – отбор образцов для OSL-датирования в центральном зале пещеры. Фото С. Зеленского

Сейчас палеогенетики освоили метод извлечения древней ДНК непосредственно из пещерных отложений. И хотя эта методика еще нуждается в усовершенствовании, она дает уникальный материал для археологов и антропологов.

С использованием этого подхода удалось обнаружить ДНК денисовцев в 15-м слое восточной галереи Денисовой пещеры, который датируется возрастом более 200 тыс. лет. Как известно, немногочисленные костные антропологические останки были найдены в более поздних слоях. Секвенирование извлеченной из них ДНК показало, что большая часть из них принадлежит денисовцам, а некоторые – неандертальцам.

Кроме того, неандертальская ДНК была извлечена из отложений 14-го слоя возрастом 190–200 тыс. лет. Самое поразительное, что в этом хронологическом периоде неандертальцы не были «замечены» ни на Ближнем Востоке, ни в Средней Азии, ни на Кавказе – в это время они только формировались. Этот факт заставляет задуматься...

человеком. Ведь чтобы что-то доказывать или отрицать, нужно знать точные хронологические границы событий, о которых идет речь. Сейчас для Денисовой пещеры с помощью наших коллег из Европы и Австралии мы получили более ста таких бесспорных датировок, которые очень хорошо согласуются между собой.

Во-вторых, что чрезвычайно важно, был расшифрован геном костного образца, названного «Денисова-11». Оказалось, что эта древняя особь представляла собой гибрид между разными первобытными людьми. С учетом секвенированной ДНК можно утверждать, что родителями этой особи были денисовец и неандерталка. Более того, оказалось, что в роду у отца-денисовца несколько поколений назад также был, по крайней мере, один неандертальский предок.

Эти сенсационные данные еще раз доказали, что у древних популяций, сформировавшихся на разных территориях, шел постоянный обмен генами. Другими словами, они скрещивались, и притом успешно, так как давали фертильное потомство, что возможно только в том случае, если скрещивались подвиды, а не разные виды человека.

Эти открытия, сделанные на Денисовой пещере, и побудили меня несколько лет назад сформулировать новую гипотезу становления человека с участием разных человеческих подвидов. Основанием для нее послужил целый пласт интересных фактов, касающихся Денисовой пещеры, уникальность которой в том, что

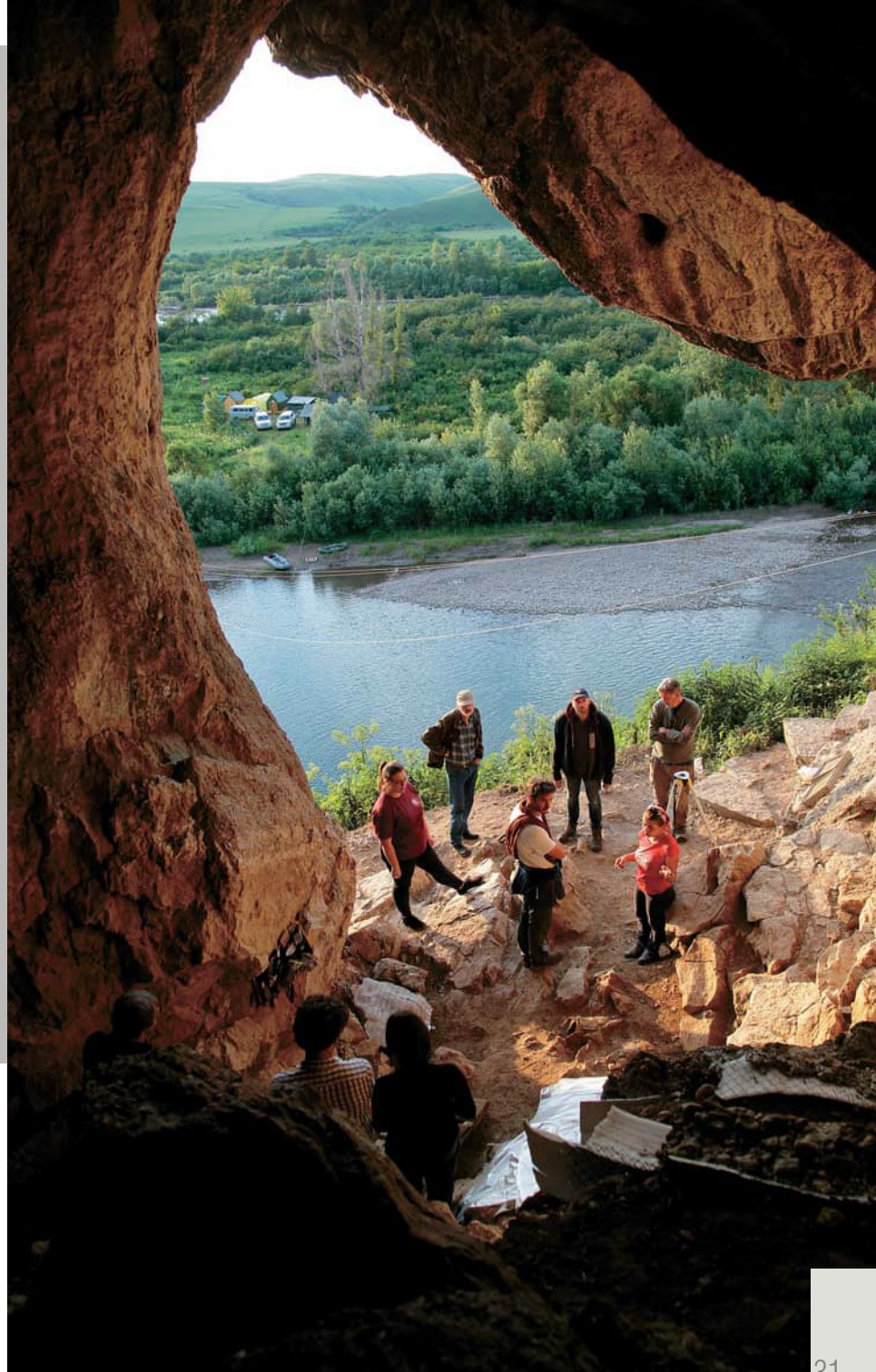
В Денисовой пещере не обнаружены следы материальной культуры неандертальцев – только денисовцев. Зато они широко представлены в алтайских пещерах Окладникова и Чагырская. Большое количество обнаруженного там каменного инвентаря разительно отличается от денисовского: неандертальцы использовали преимущественно технику двусторонней обработки камня, тогда как денисовцы – пластинчатую.

То есть, несмотря на то, что денисовцы и неандертальцы жили на соседних и даже перекрестных территориях и, безусловно, регулярно встречались, они демонстрируют большую приверженность к своим орудийным традициям. Вероятно, их орудийные наборы при всех своих различиях были одинаково успешны в тех экологических условиях. Лишь в нижнем горизонте пещеры Окладникова (возраст 44–45 тыс. лет) у неандертальцев появляются пластинчатые орудия и нуклеусы для скалывания пластин

здесь одновременно были обнаружены антропологические находки, связанные как с денисовцами, так и с неандертальцами.

Интересно, что в отложениях Денисовой пещеры подробно прослежена эволюция каменной индустрии денисовцев, но нет никаких следов присутствия неандертальцев. Хотя мы имеем хорошее представление о каменных орудиях неандертальцев по раскопкам в пещерах Окладникова и Чагырская в том же Горном Алтае, которые наш институт ведет уже многие годы. И мы можем точно сказать, что эти изделия совершенно отличаются от тех, что были сделаны денисовцами.

Каким же образом в отложениях пещеры могли оказаться останки сразу двух групп древних людей?



Этому могут быть только два объяснения. Первое – каннибализм как результат антагонистических отношений между денисовцами и неандертальцами. Второе – скрещивание между ними, смешанные «браки». Вероятно, такие отношения были достаточно случайными и кратковременными, и денисовцы

Участники международного археологического симпозиума на экскурсии в Чагырской пещере, расположенной в южной части Алтайского края, в районе северных отрогов Тигирецкого хребта. Пещера находится в обрыве берега р. Чарыш на высоте 25 м от уреза воды. Июль 2018 г. Фото С. Зеленского



Академик РАН А. П. Деревянко, научный руководитель (директор в 1983–2015 гг.) ИАЭТ СО РАН, и нынешний директор института, член-корр. РАН М. В. Шуньков. Стационар «Денисова пещера». 2018 г. Фото С. Зеленского

не восприняли ничего из неандертальской технологии обработки камня.

По существу, неандертальцы никогда и не жили в Денисовой пещере продолжительное время. Но с денисовцами они могли встречаться на охоте, на фуражировке, так как жили на сопредельных территориях, были «соседями». И эти вполне мирные встречи неандертальцев и денисовцев – теперь реальный, установленный факт, что тем более удивительно, потому что эти эпизоды истории человека отстоят от нас на десятки тысяч лет.

За рубежом мне постоянно задают вопрос: почему такая высокоразвитая культура, как денисовская, появилась на самом краю древней ойкумены?

Дело в том, что многие представляют Сибирь как страну вечного холода, тем более когда вспоминают о ледниках в плейстоцене. Но на самом деле ледники были далеко на севере, у нас же здесь не было покровного оледенения, лишь ледники высоко в горах. При этом в субтропиках и тропиках человек мог практически круглый год жить на растительной пище. На Алтае же, даже в самое комфортное время, человек имел возможность использовать «подножный корм» лишь в течение летних месяцев – все остальное время он был

вынужден охотиться. Но охота в первую очередь означает коллективность. Отсюда – необходимость в повышении коммуникативных навыков, передаче опыта как в отношении приемов обработки камня, так и методов самой охоты. Все это помогло развитию когнитивных способностей древнего человека. Неудивительно, что здесь сформировалась такая яркая культура.

И то, что денисовцы жили на краю заселенного мира, также сыграло важную роль, потому что, к примеру, Дальний Восток в то время был настоящим «проходным двором»: постоянные миграции, смена населения и т. д. С точки зрения обмена генами – это хорошо, но не с точки зрения развития самобытной культуры.

И еще один важный вопрос, на который пока нет однозначного ответа: куда «делись» сами денисовцы, история которых «записана» в многочисленных слоях пещерных отложений?

Могу лишь сказать, что индустрию денисовцев мы прослеживаем в пещере с горизонта возрастом 300 тыс. лет. Останки гибрида неандертальцев и денисовцев были обнаружены в слое возрастом 130–140 тыс. лет. Возраст же самого верхнего, 9-го горизонта пещерных отложений, где также обнаружены артефакты денисовцев, – примерно 35–30 тыс. лет.

Как известно, если на территорию приходит другая человеческая популяция, она, как правило, приносит свои технологии, свои приемы обработки камня. Тем более если это будет более «продвинутой» человек современного вида. Но не только в Денисовой пещере, но и нигде в Южной Сибири, на Алтае мы не обнаружили ни более совершенной каменной индустрии, ни резкой смены технологий обработки камня.

Рядом, в долине Ануя, где были открыты стоянки возрастом 30–25 тыс. лет, – все та же денисовская каменная индустрия. То же самое и на притоке Ануя, Караколе, где были найдены следы присутствия человека 30 и 25 тыс. лет назад. Единственный след современного человека (по данным секвенирования ДНК) был обнаружен на Ишиме в Тюменской области в виде фрагмента бедренной кости возраста примерно 45 тыс. лет.

Так что никто, и мы в том числе, не можем сегодня сказать, что случилось с денисовцами – творцами этой высокой культуры, и когда сюда пришли так называемые современные люди. В самом верхнем, 9-м горизонте Денисовой пещеры тоже найдены костные останки, но кому они принадлежат, еще предстоит установить.

Работа продолжается. Сейчас в Денисовой пещере начаты раскопки очень перспективной южной галереи, которая сначала длится метров на десять, а потом резко сужается и уходит дальше. Кто знает, какие неожиданные открытия там нас ждут?

Литература

Дерезьянко А. П., Шуньков М. В. Откуда пришел *Homo sapiens* // НАУКА из первых рук. 2015. Т. 65/66. № 5/6. С. 36–56.

Паабо С. В поисках утраченных геномов: от неандертальца – к денисовцу // НАУКА из первых рук. 2015. Т. 65/66. № 5/6. С. 20–35.

Шуньков М. В. Денисова пещера – все меняется, ничто не исчезает // НАУКА из первых рук. 2010. Т. 34. № 4. С. 38–57.

Buzhilova A., Derevianko A., Shunkov M. The Northern Dispersal Route: Bioarchaeological Data from the Late Pleistocene of Altai, Siberia // *Current Anthropology*. 2017. V. 58. N. S17. P. S491–S503.

Mednikova M. B., Shunkov M. V., Markin S. V. Robusticity of Hand Phalanges: Relevance to the Origin of the Altai Neanderthals // *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*. 2017. V. 45. N. 3. P. 126–135.

Slon V., Hopfe C., Weib C. L. et al. Neandertal and Denisovan DNA from Pleistocene sediments // *Science*. 2017. V. 356. N. 6338. P. 605–608.

Slon V., Mafessoni F., Vernot B. et al. The genome of the offspring of a Neandertal mother and a Denisovan father // *Nature*. 2018. V. 561. N. 7721. P. 113–116.

Редакция журнала благодарит к. и. н. М. Б. Козликина (ИАЭТ СО РАН, Новосибирск) за помощь в подготовке публикации



33

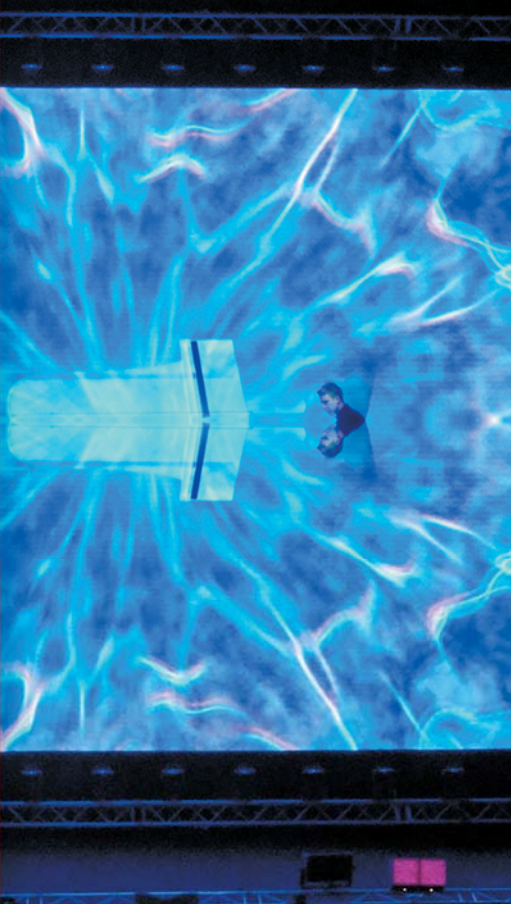
Молодые сотрудники лаборатории палеогенетики Института эволюционной антропологии Общества Макса Планка (Германия), занимающиеся изучением алтайского палеолита: К. де Филиппо и Ф. Мафессони.
Горный Алтай, июль 2018 г. Фото С. Зеленского

Фото Е. Турциной



Тепло и свет нашему дому

© С. В. Алексеенко, 2018



В 2018 г. автор этой статьи, известный новосибирский ученый-теплофизик, академик РАН С.В. Алексеенко, стал одним из двух лауреатов ежегодно присуждаемой международной премии «Глобальная энергия». Формулировка обоснования для награждения этой престижной научной премией – «за вклад в развитие теплоэнергетики, теплообмена и повышение ресурсного потенциала человечества». За этими громкими словами в данном случае стоят конкретные фундаментальные и практические работы по созданию современных энергосберегающих технологий и экологически безопасных энергетических установок. Многие из них базируются на вихревых процессах, которые позволяют повысить эффективность сжигания органического топлива, что в наши дни является общемировой проблемой

Пылеугольный факел на испытательном стенде ИТ СО РАН. Фото Е. Бутакова

АЛЕКСЕЕНКО Сергей Владимирович – академик РАН, заведующий лабораторией проблем тепломассопереноса Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск); в 1997–2017 гг. занимал пост директора института. Заведующий кафедрой физики неравновесных процессов физического факультета Новосибирского государственного университета. Председатель Объединенного ученого совета по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления СО РАН, главный редактор журнала «Теплофизика и аэромеханика». Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники (2012), международной Премии им. академика А.В. Лыкова (2014), международной премии «Глобальная энергия» (2018). Автор и соавтор более 300 научных работ, включая 8 монографий и 38 патентов

Все мы знаем, что неисчерпаемыми источниками энергии являются возобновляемые ресурсы: энергия солнца, ветра и воды, энергетические ресурсы биомассы, геотермальная энергия – природное тепло Земли. Среди самых перспективных направлений – солнечная энергетика: даже в средней полосе в ясный день на 1 м^2 поверхности падает энергетический поток мощностью до 1 кВт. Не менее значима *петротермальная энергетика*, базирующаяся на аккумулировании «сухого» тепла горячих горных пород на глубинах 3–10 км, где температура достигает $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Такой энергии человеческой цивилизации должно хватить практически навсегда!

Ключевые слова: теплофизика, энергетика, энергосбережение, возобновляемые источники энергии, тепломассообмен, вихри, волны, пленки жидкости, турбулентные струи, пламя, горение.

Key words: thermophysics, power engineering, energy saving, renewable energy sources, heat and mass transfer, vortex, waves, liquid film flows, turbulent jets, flame, combustion



Одна из самых престижных научных премий «Глобальная энергия», которой отмечаются выдающиеся достижения в области энергетики, принесшие пользу всему человечеству, была учреждена в ноябре 2002 г. по инициативе группы российских ученых. Учредители премии – российские компании ПАО «Газпром», ПАО «ФСК ЕЭС» и ОАО «Сургутнефтегаз». Решение о награждении принимает международный комитет, куда входят специалисты в области энергетики из России, Великобритании, Германии, Китая, США, Франции и др. Размер премиального фонда в 2018 г. составил 39 млн рублей. К 2018 г. лауреатами стали 37 ученых из десяти стран мира, в том числе 18 российских, включая академиков А. Э. Конторовича, В. Е. Накорякова и В. Н. Пармона из Сибирского отделения РАН

На торжественной церемонии награждения премией «Глобальная энергия» в октябре 2018 г. *Справа* – лауреаты, российский академик С. В. Алексеенко и австралийский профессор М. Грин. *Вверху* – лауреаты премии прошлых лет академики РАН В. Е. Пармон, А. Э. Конторович и Г. А. Месяц. Фото из архива пресс-службы ассоциации «Глобальная энергия»

И все-таки пока в мировом масштабе все работы по возобновляемым источникам энергии – это деятельность на достаточно далекую перспективу. До середины, а может быть, и до конца нашего столетия основное внимание в области энергетики будет направлено на повышение эффективности сжигания и переработки невозобновляемого ископаемого органического топлива – газа, нефти, угля.

Некоторые подходы, используемые здесь, вполне очевидны. К примеру, сегодня КПД производства электрической энергии на газовых станциях составляет 30–35%. Но благодаря использованию парогазовых установок, где генерация электричества сначала идет в газовой турбине за счет сжигания газа, а потом в паровой надстройке, КПД можно повысить почти вдвое. В угольной энергетике наиболее перспективна глубокая переработка сырья, в первую очередь, его *газификация* – получение горючего *синтез-газа* (водород + CO) для промышленности и энергетики, а также высокоэффективное сжигание угля. Первым направлением в мире занимаются немногие: сегодня основной упор



37



Добавление водяного пара позволяет экологически чисто сжигать низкокачественные жидкие топлива и горючие отходы типа отработанных масел. Принцип действия прямоточной горелки оригинальной конструкции, разработанной в ИТ СО РАН (Новосибирск), в том, что сначала при недостатке кислорода происходит газификация органического топлива с образованием синтез-газа, который на выходе из горелки смешивается с окружающим воздухом и сжигается с низким уровнем вредных выбросов, прежде всего окислов азота и сажи. На основе этого подхода разработаны автономные источники тепла мощностью до 50 кВт. *Вверху* – характерный сажный режим горения дизельного топлива; *справа* – сжигание топлива в струе перегретого водяного пара.
 Фото И. Ануфриева (ИТ СО РАН)

делается на эффективные и экологически чистые методы сжигания твердого органического топлива.

России глупо отказываться от использования ископаемого топлива: мы владеем громадными ресурсами такого сырья – 18% запасов угля (2 место в мире), около 6% нефти (6–8 место) и 18% природного газа (1 место). И до конца нынешнего века оно, очевидно, будет основным.

Что касается Сибири, то здесь доля угля в энергобалансе составляет более 80%. Еще один нюанс: в холодном сибирском регионе большая часть энергии идет на производство тепла, тогда как в большинстве стран приоритет отдается производству электричества как такового. С этой точки зрения нам нет особого смысла заниматься повышением КПД электрических станций – важнее коэффициент использования топлива. Пусть даже КПД при производстве электроэнергии будет очень низким (к примеру, 20%), но если все остальное будет эффективно превращено в тепло, то это и будет достижением.

Как поднять КПД?

Современные тенденции в теплоэнергетике связаны с ужесточением экологических требований. Считается, что в *парниковом эффекте*, способствующем глобальному потеплению, в первую очередь виноват углекислый газ, который выбрасывается в атмосферу при сжигании органического топлива. В 2016 г. в соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата было подписано Парижское соглашение, регулирующее меры по снижению антропогенных выбросов углекислого газа в атмосферу. Россия его пока не ратифицировала, но, вероятно, такое решение будет вскоре принято.

Что может представлять собой теплоэнергетика без выброса CO_2 ? Существуют такие радикальные меры, как *секвестирование* – улавливание двуокиси углерода и закачка его глубоко под землю в слои пористых пород или в угольный пласт, истощенные месторождения газа и нефти (что, кстати сказать, повышает нефтеотдачу). Чтобы легче было выделить углекислый газ из газовой смеси, топливо следует сжигать в чистом кислороде. Тогда в топочных газах на выходе будут присутствовать только CO_2 и пары воды, а эту смесь легко разделить путем конденсации водяного пара.

Можно извлекать CO_2 и химическим способом. Но все эти технологии очень дорогие и нерентабельные, пока их отработывают только на пилотных стендах. Сейчас основным подходом к уменьшению выбросов углекислого газа служит повышение КПД. Если, к примеру, с помощью той же парогазовой установки повысить КПД с 35 до 60%, то это будет означать, что для производства того же количества энергии вы потратите

в два раза меньше топлива и в два раза снизите выброс оксида углерода.

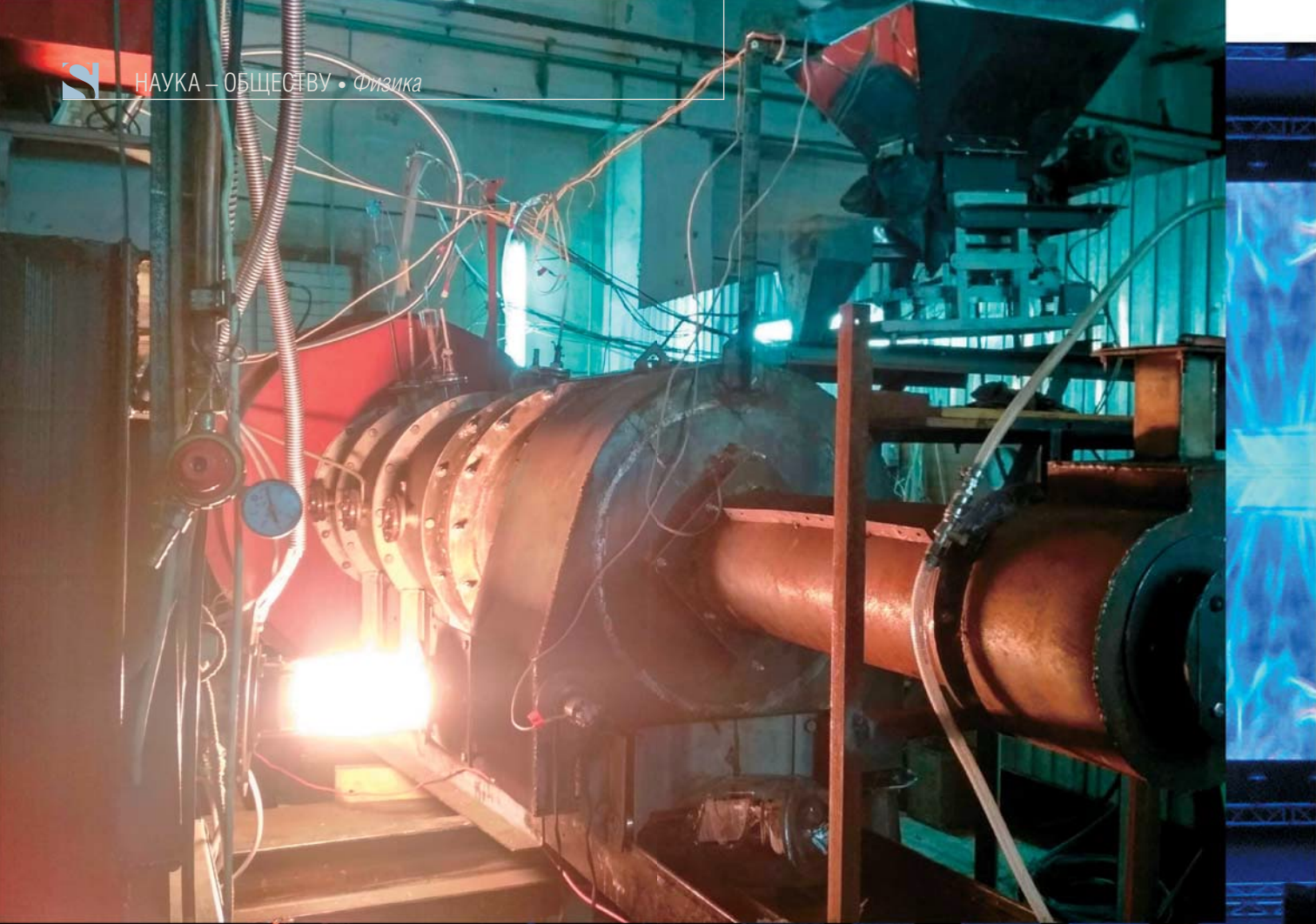
Повышение термического КПД паротурбинного цикла сейчас осуществляется путем увеличения температуры и давления пара вплоть до *сверхкритических* параметров: 25 МПа, 565 °С. И уже идет создание мощных угольных ТЭС с температурой пара 600–700 °С и давлением до 35 МПа, КПД которых достигает 47–55%. Такие параметры считаются уже *суперсверхкритическими*.

Заметим, что проблема в реализации подобных проектов связана с конструкционными материалами, которые не выдерживают столь высоких температур. Дело в том, что обычно основная тепловая нагрузка приходится на парожидкостный тракт камеры сгорания. Большой коллектив специалистов из ряда организаций (Научно-производственного внедренческого предприятия «Турбокон» (Калуга), Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Московского энергетического института, Института вычислительных технологий и Института теплофизики имени С. С. Кутателадзе СО РАН) предложил и выполнил проект, согласно которому повышать температуру следует не в самой топочной камере, а непосредственно перед паровой турбиной.

Для этого в атмосфере пара нужно сжигать водород с кислородом – в результате вновь получается вода, а температуру при этом можно легко довести до 800–1500 °С (!) с потенциальным КПД установки до 50–55%. Для угольного котла можно создать замкнутый цикл: сначала путем газификации получить синтез-газ, извлечь из него водород и использовать его при сжигании топлива – все это можно осуществить на одной станции. Сама идея замечательная, но проблема в том, что это опять дорого, да к тому же и опасно. Гигантский котел с водородом – это уже бомба.

Более практичные решения в этой области имеются для малой энергетики. В качестве отступления замечу, что централизованная энергетика – это великое достижение СССР и России. В нашей стране имеется самая разветвленная трубопроводная сеть теплоснабжения. Однако потери в подобных системах достигают 40%: если труба тянется на несколько километров, то никакая теплоизоляция не предохранит от потерь тепла. Поэтому сейчас в России развивается децентрализованная, или *распределенная энергетика*, основанная на локальных энергоисточниках небольшой мощности (малые котлы, возобновляемые источники энергии и даже аккумуляторы в случае небольших потребностей).

Оригинальные технологии в этом направлении успешно развиваются в нашем Институте теплофизики СО РАН совместно с промышленными партнерами. Ниже мы обсудим две из них: *микроуголь* и *водоугольное топливо* (ВУТ), смесь угля (65%) с водой.



Модифицированный экспериментальный тепловой стенд 5 МВт в ИТ СО РАН с двухступенчатой подачей угольного топлива, где исследуются процессы воспламенения, горения и газификации угля микропомола. Такая схема работы позволяет существенно сократить расходы на приготовление микроугля и число растопочных горелок, поскольку на вторую ступень топливо от штатной мельницы котла подается с учетом реакционных свойств угля. В результате мощность растопочной горелки можно увеличить в несколько раз по сравнению с одноступенчатым сжиганием. Фото Е. Бутакова (ИТ СО РАН)

Большая выгода малого угля

Идея, которую в нашем институте разрабатывает небольшая группа исследователей с главным идеологом профессором А. П. Бурдуковым, на первый взгляд, проста. Стандартный размер частиц угля, сжигаемых в крупных энергетических котлах, составляет примерно 100 мкм. Мы же предлагаем сжигать уголь в виде частиц размером менее 40 мкм (технически реально до 6 мкм), называя его углем микропомола, или микроуглем.

Когда заходит разговор о микроугле, энергетики-практики обычно выражают глубокое сомнение: во-первых, это энергозатратно, во-вторых, взрывоопасно. Но все эти проблемы решены. Для производства микроугля применяются специальные мельницы-дезинтеграторы, в которых уголь попадает между цилиндрическими «пальцами» двух дисков,

вращающихся в разные стороны с относительной скоростью 6000 об./мин. Этот процесс требует небольших затрат энергии, сравнимых с помолотом в шаровых барабанных мельницах, при котором получаются гораздо более крупные частицы. А чтобы избежать взрыва, микроуголь не надо запасать: его следует производить непосредственно рядом с горелкой – когда нет хранилища, нет и опасности взрыва.

Наконец, самое главное: при измельчении в дезинтеграторах идет *механоактивация*, т. е. изменение не только механических, но и физико-химических свойств самого угля. Температура воспламенения механоактивированного угля ниже, а скорость химических реакций существенно выше, благодаря чему он горит как газ или жидкое топливо. Это означает, что его можно использовать как замену в малых газомазутных котлах, которыми оснащены котельные в отдельных районах

и поселках. Уголь стандартного помола в таких котлах просто не успеет полностью сгореть, «уйдет» в сажу. А мазут – это еще и самое дорогое топливо. Так что микроуголь выгоднее не только «экологически», но и экономически.

Микроуголь можно успешно применять и в большой энергетике. Российские угли низкого качества, при этом у нас не принято проводить обогащение угля, как это делается в других странах. А чтобы запустить большой котел с таким углем, его требуется разжечь с помощью газа либо мазута, или поддерживать горение непрерывно. Все это достаточно дорого и неудобно, так как требует целого отдельного хозяйства, к тому же мазут зимой превращается буквально в камень и сам требует разогрева перед использованием. В нашем институте на основе лабораторных исследований была разработана и запатентована система по применению микроугля для поджига угольного топлива в крупных котлах, успешно

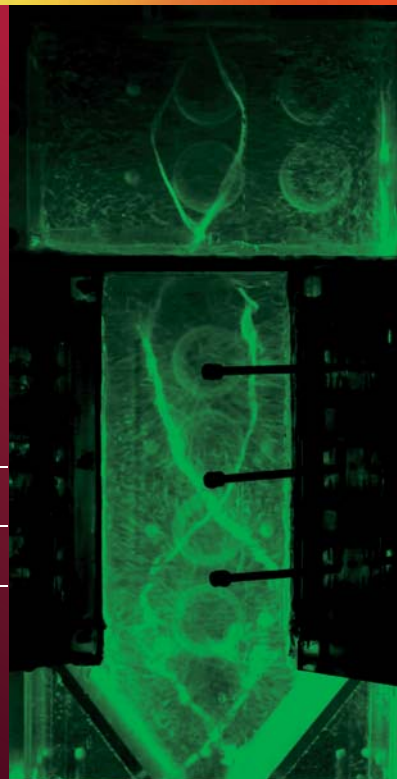
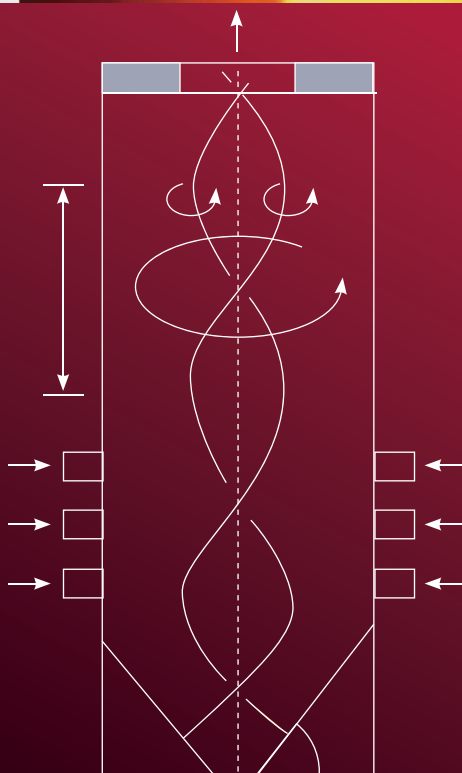
апробированная на Беловской ГРЭС (Кемеровская обл.). Сейчас она полностью готова для широкомасштабного внедрения.

Еще одно возможное, хотя и необычное, применение микроугля – непосредственное сжигание в газовых турбинах. Угольную пыль стандартного помола нельзя использовать, потому что в условиях высоких температур и скоростей массивные частицы за счет инерции попадают на поверхность лопаток турбины, мгновенно приводя их в негодность за счет эрозионного износа и коррозии. Но, как показали эксперименты, частицы угля размером около 6 мкм следуют за потоком, не касаясь лопаток и не вызывая негативных последствий.

Как уже говорилось, из угля методом газификации можно получить синтез-газ, который затем сжигается в газовой турбине, но его производство требует довольно много энергии. Так что благодаря микроуглю у нас появляется

В реальной вихревой камере сгорания, предназначенной для сжигания угольной пыли, горение происходит в потоке воздуха. Но только водяная модель (справа) позволяет наглядно увидеть структуру вихревого движения и разработать методы управления процессом сжигания. Визуализация выполняется с помощью мелких пузырьков воздуха, которые собираются на оси вихря, где всегда формируется зона пониженного давления. На схеме показан впервые обнаруженный в 1980-х гг. необычный режим вихревого движения – двойной спиральный вихрь (Alekseenko, Kuibin, Okulov, Shitork, 1999).

Фото Е. Гешевой (ИТ СО РАН)



возможность не только заменить дорогой газ на более дешевое топливо, но и повысить КПД установок, работающих на угле, исключив энергозатратный блок предварительной газификации.

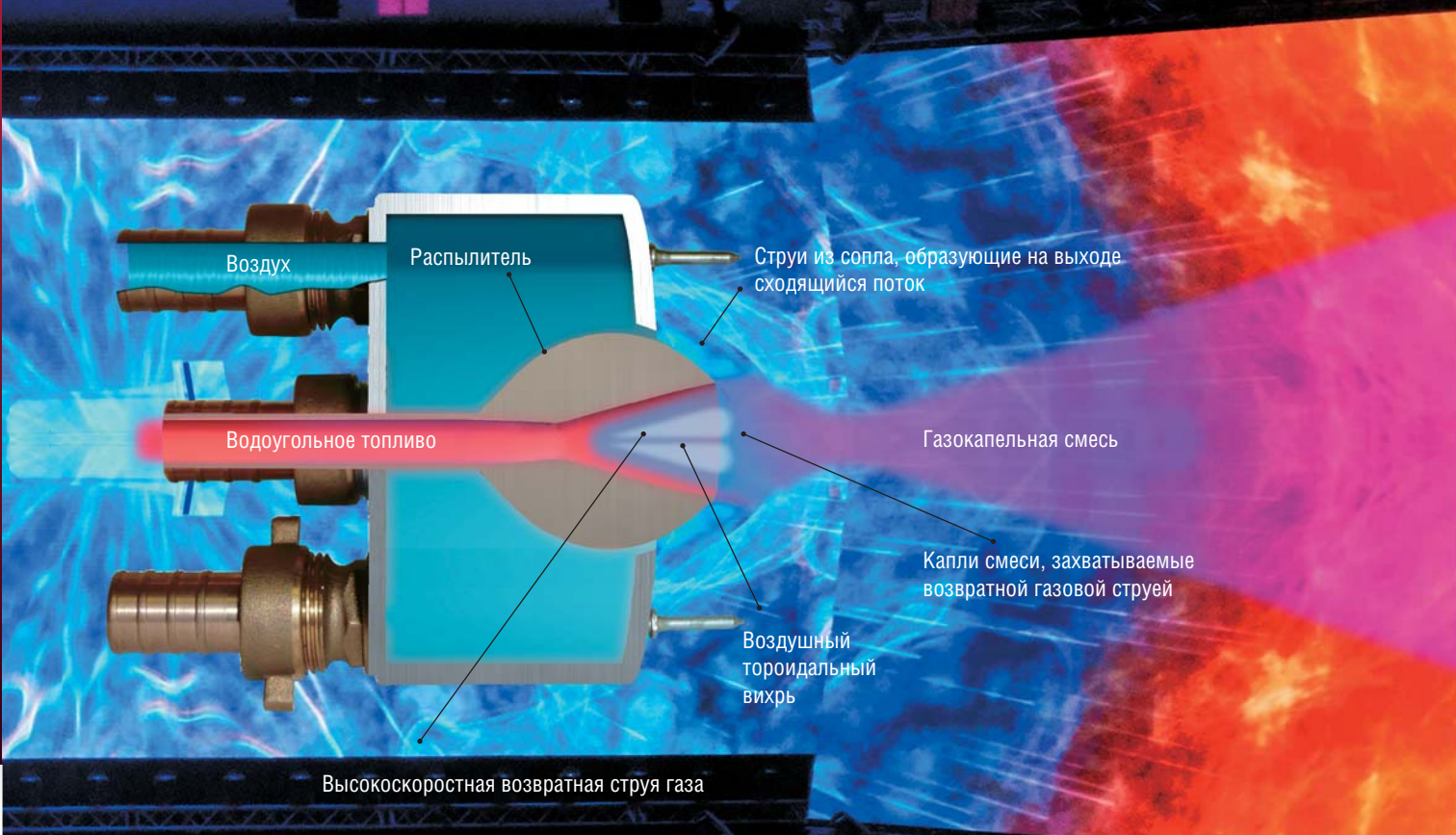
Мочить уголь – это хорошо

История водоугольного топлива началась в СССР еще в 1950-х гг. с работ профессора Г. Н. Делягина, который занимался созданием методов производства и сжигания водных суспензий углей. Он предложил не перевозить уголь по железной дороге, а гнать по трубопроводу как жидкое топливо. ТЭЦ-5 в Новосибирске была спроектирована именно под сжигание ВУТ, и к ней протянули углепровод из Кемеровской области длиной почти 220 км.

Однако из этой затеи тогда ничего не вышло: водоугольная смесь, истекающая из форсунок со скоростью более 200 м/сек, – это мощный абразив, который быстро (в течение 17 ч.) выводил из строя форсунки за счет интенсивного эрозионного



Одна из парогенерирующих установок малой мощности на водоугольном топливе успешно работает на заводе стеновых блоков (СИБИТе) в Новосибирске. Водоугольное топливо и воздух подаются в топку котла по трубопроводам в автоматическом режиме. Рядом с установкой – д. т. н. Л. И. Мальцев (ИТ СО РАН).
Фото М. Роговой



В оригинальной форсунке для сжигания водоугольного топлива смесь угля с водой движется с небольшой скоростью по центральному каналу, а воздух подается через кольцевой канал и истекает из щелевого сопла с околозвуковой (300 м/с) скоростью. Благодаря сферической форме насадки и действию эффекта Коанда («эффекта чайника») образуется воздушная струя, которая «прилипает» к стенке. Соединяясь на оси центрального канала, эта пристенная струя формирует высокоинтенсивную кумулятивную струю, которая движется навстречу струе водоугольного топлива, разбивая его и смешивая с воздухом в тороидальном вихре. В результате топливо распыляется и хорошо перемешивается с воздухом, причем это происходит за пределами форсунки, что исключает эрозию ее стенок. *По: (Мальцев, 2009)*

износа. Было сделано предложение использовать износостойкую керамику, но в стране началась перестройка, и все эти проекты были забыты. Тематику закрыли, углепровод выкопали, а ТЭЦ-5 перешла на простой уголь. Зато соседи из КНР учли наш опыт по приготовлению и сжиганию ВУТ и сейчас ежегодно производят до 15 млн т водоугольного топлива. Его сжигают на обычных ТЭС в адаптированных котлах, а также поставляют танкерами в Японию, где уголь высушивают и сжигают стандартными способами.

К водоугольному топливу мы вернулись уже позже, сначала – по просьбе новосибирского завода СИБИТ. У предприятия были проблемы с энергоснабжением, а оборудование для производства сибита подходило и для приготовления водоугольной суспензии. В результате нам удалось создать новую концепцию подготовки и сжигания такого угля и получить более 20 патентов!

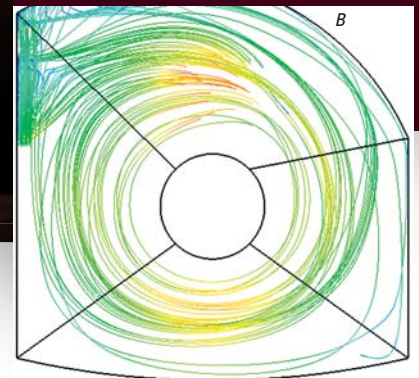
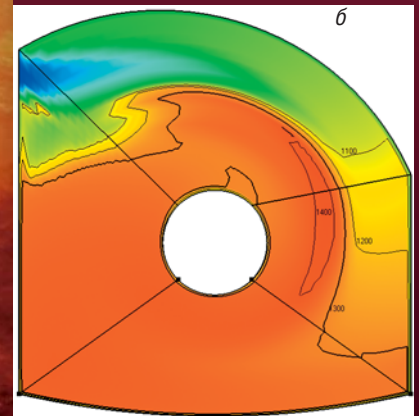
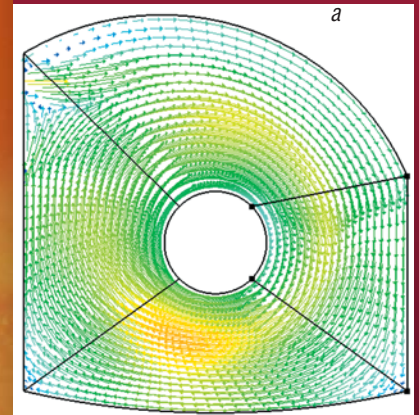
Мы отказались от углепровода и предложили готовить ВУТ в заводских условиях, а потом развозить его, как жидкое топливо, на специальных автомобилях. Уголь измельчается в мокром состоянии в шаровой

барабанной мельнице с последующим доизмельчением на гидродинамическом роторном генераторе кавитации. *Кавитация* – это процесс образования паровых пузырьков в потоке жидкости в зонах пониженного давления за движущимися объектами. Как только паровой пузырь перемещается в зону высокого давления, он схлопывается, при этом вследствие кумулятивных эффектов развиваются гигантские давления. В гидроэнергетике подобные явления приводят к катастрофическим последствиям, разрушая лопасти гидротурбин. В случае же с ВУТ они дают положительный эффект, измельчая и механоактивируя в воде частички угля. В смесь также добавляется специальный пластификатор (менее 1%) для уменьшения вязкости и повышения стабильности, благодаря чему водоугольная суспензия в течение месяца не расслаивается, и ее можно сжигать без предварительного перемешивания.

Важной частью новой технологии стала форсунка для смешения топлива с воздухом, которая практически не подвержена износу. Ее секрет в том, что водоугольная суспензия подается не вместе с воздухом через один

В вихревой камере котла для сжигания водоугольного топлива благодаря тангенциальному вводу смеси топлива с воздухом через форсунку формируется интенсивное вихревое движение с хорошим перемешиванием и теплообменом. В центральной части камеры имеется массивное тело, которое, с одной стороны, способствует организации закрученного течения, а с другой – облегчает повторный запуск котла за счет своей нагретой поверхности. Горячие продукты сгорания из вихревой камеры обтекают трубы, по которым проходит вода для систем теплоснабжения

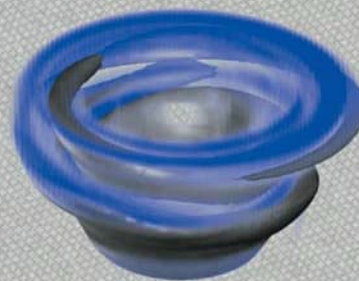
Горение водоугольного топлива (ВУТ) в топке котла



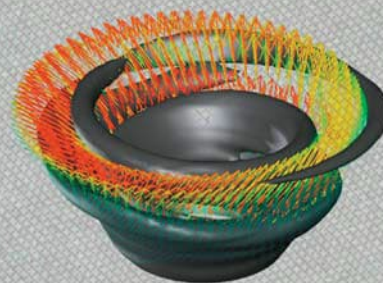
Результаты расчета вихревой топочной камеры с расходом водоугольного топлива 1500 кг в час: векторное поле скорости в центральном сечении (а), поле температур в центральном сечении (б), траектория движения водоугольных частиц (в).
По: (Чернецкий, Дектерев, Мальцев, Тэпфер, 2009)

канал, как в предыдущих конструкциях, а отдельно. Через центральный канал движется ВУТ с небольшой (всего лишь несколько м/с) скоростью, а высокоскоростной (300 м/с) поток воздуха поступает в кольцевой канал. Смешение же этих потоков происходит за пределами форсунки благодаря профилированной насадке, которая формирует мощные тороидальные вихри за счет эффектов Коанда и кумуляции.

Отметим, что в любой системе, где требуется ускорить тепло- и массообмен, даже при перемешивании, например, чая, лучшим способом достижения результата является вихреобразование. В нашем случае формирование вихрей происходит почти на всех стадиях реализации технологии ВУТ. Вихревые явления используются при подготовке смеси угля и воды к сжиганию, как уже было показано. Вихревой принцип заложен и в конструкцию топочной камеры для сжигания ВУТ, которая содержит кольцевой канал с интенсивно закрученным потоком горячей водоугольной смеси, а также центральное тело, имеющее высокую теплоемкость, что



Когерентная структура пульсаций скорости соответствует прецессии двух винтовых вихрей, примыкающих к фронту пламени



Повышение эффективности газотурбинной техники нового поколения сопряжено с использованием методов избирательного управления потоками. С использованием математических методов анализа больших массивов данных и алгоритмов распознавания образов была установлена пространственная трехмерная структура автоколебательной моды, возникающей в вихревых камерах сгорания. На этой основе была разработана стратегия эффективного управления горением методами внешнего воздействия, получившая подтверждение в эксперименте (Алексеев, Маркович, Дулин и др., 2013)

ВИХРИ В МИКРО- И МАКРОМАСШТАБЕ

Вихревые технологии для энергетики крайне важны. Мы уже упоминали вихревые реакторы, вихревые горелки... Вот еще один пример из этой области.

Как известно, хорошо горят только достаточно богатые топливные смеси. Но для стехиометрической горючей смеси это означает и самые высокие температуры, и самые большие выбросы оксида азота. Поэтому главная тенденция в теплоэнергетике – использовать обедненные смеси, которые горят при более низких температурах, в результате чего, соответственно, резко снижается образование оксидов азота.

Однако пламя в этом случае становится неустойчивым, оно может срываться (затухать). Один из основных способов

борьбы с этим явлением – закрутка пламени, что позволяет добиться эффективного сжигания обедненной смеси. При сильной закрутке происходит распад вихря, возникает возвратная зона, в результате горячие газы из топки поступают к корню факела, тем самым обеспечивая устойчивое воспламенение. Исследования таких процессов для нас – в числе приоритетных.

Ряд удивительных и неизвестных ранее вихревых явлений мы обнаружили при моделировании течения в отсасывающей трубе за гидротурбиной. Они характерны для концентрированных вихрей типа торнадо, в которых энергия вращательного движения сосредоточена вблизи оси вихря. Так, при исследованиях неустойчивого спирального

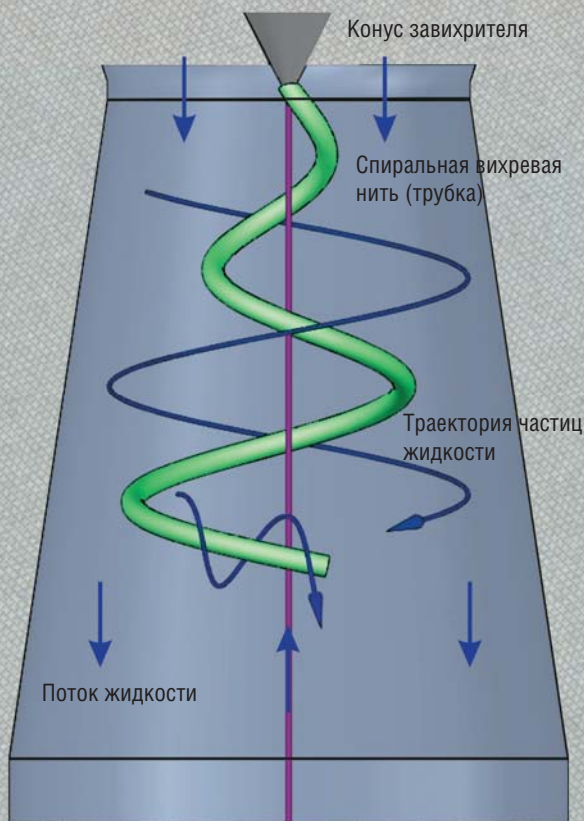
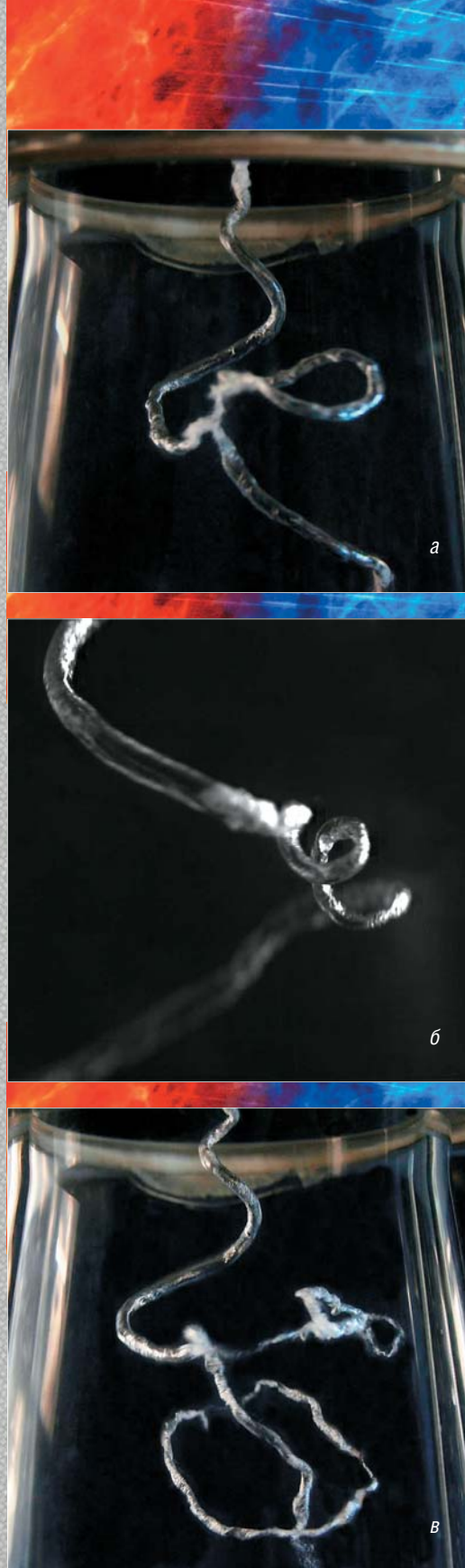
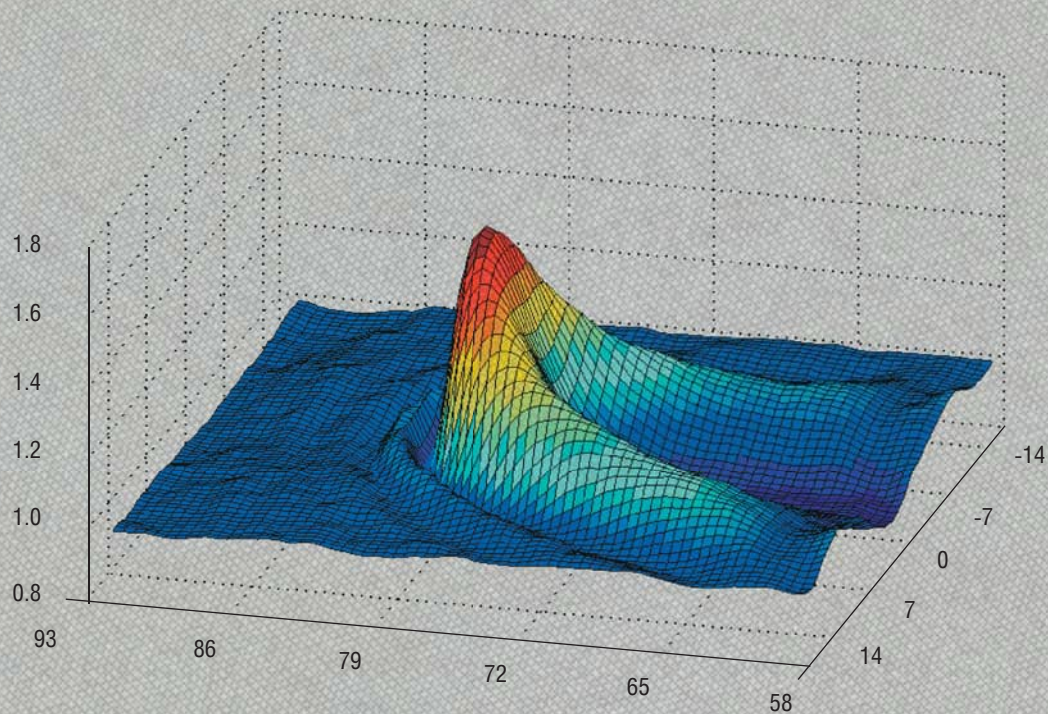


Схема экспериментальной установки для моделирования условий, возникающих в отсасывающей конусной трубе, расположенной непосредственно за гидротурбиной гидроэлектростанции. При пониженных (неоптимальных) расходах воды через турбину в трубе формируется интенсивный вращающийся спиральный вихрь – источник мощных пульсаций давления. В такой экспериментальной установке впервые были обнаружены явления, связанные с вихревым перезаключением (Алексеевко, Куйбин, Шторк и др., 2016).

Справа – примеры вихревых структур (визуализация осуществляется пузырьками воздуха в потоке воды):
 а – вихревое перезаключение с образованием изолированного вихревого кольца. Показан момент отрыва кольца, исходная вихревая нить остается непрерывной;
 б – формирование волны Кельвина (спиральной волны) после отрыва вихревого кольца. Волна распространяется вверх по потоку, одновременно вращаясь вокруг своей оси;
 в – вихревое перезаключение с одновременным образованием изолированного и зацепленного (в нижней части фотографии) вихревых колец. Уникальное явление – образовавшееся вихревое кольцо – оказывается надетым на исходный вихрь



Фотографии – стоп-кадры видеозаписи С. Скрипкина и М. Цоя (ИТ СО РАН, Новосибирск)



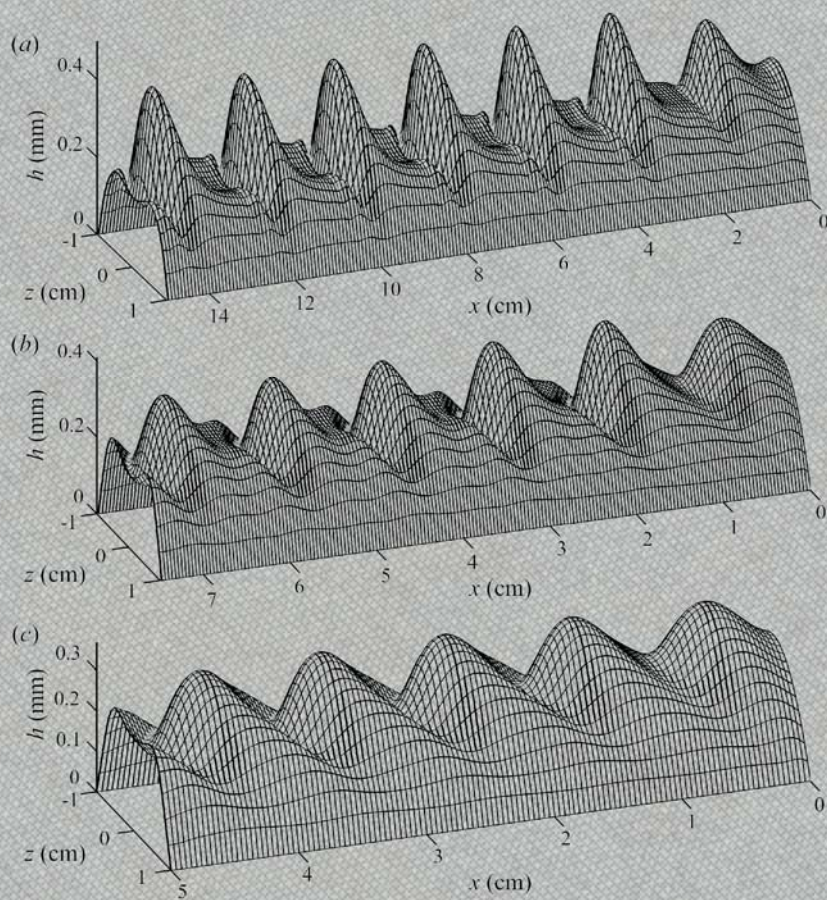
вихревого жгута, который формируется при неоптимальных для гидротурбины режимах течения, были открыты уникальные явления *перезамыкания вихря*. Наиболее часто наблюдалась ситуация, когда две части вихревого жгута в пределах одного витка спирали подходили достаточно близко друг к другу, выстраиваясь рядом таким образом, что их векторы завихренности были антипараллельны, и соединялись. Затем от этой вихревой нити отрывалось вихревое кольцо, сама же нить оставалась непрерывной. Самопроизвольно двигаясь, кольцо быстро удалялось от вихря, взаимодействуя со стенкой трубы и порождая глухие стуки, которые ранее не находили объяснения. В более редком случае соединялись не ближние, а дальние участки вихря, и получившееся вихревое кольцо не отрывалось, а оказывалось «надетым» на непрерывную вихревую нить.

Учитывать все эти явления необходимо, так как нестационарные процессы в отсасывающей трубе гидротурбины вызывают мощные вибрации, которые могут приводить к авариям, как это случилось на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г.

Стекающие тонкие пленки жидкости широко распространены как в природе, так и в технике (например, они возникают при конденсации пара в тепловых электростанциях, в теплообменниках). Пленки всегда неустойчивы: на их поверхности формируется сложная картина волн, которые сильно влияют на процессы тепломассопереноса. С помощью метода лазерной индуцированной флуоресценции удалось выделить и описать главный элемент волновой картины – 3D-солитон (*вверху*), трехмерную уединенную нелинейную волну, распространяющуюся с постоянной скоростью. По: (Alekseenko, Antipin, Guzanov et al., 2005)

Мы наблюдали взаимодействия вихрей, сопровождающиеся эффектами перезамыкания, в масштабах лабораторных установок и промышленных объектов. Но подобные явления можно найти и в природе, как в микро-, так и в макромире. Существуют такие понятия, как *квантовый вихрь* и *квантовая турбулентность*. Диаметр квантового вихря – один атом, такие вихри возникают в сверхтекучем гелии. Там так же, как в вязкой жидкости, образуется турбулентное движение, но только вследствие процессов перезамыкания квантовых вихрей. И хотя наблюдать эти процессы невероятно сложно, их существование было подтверждено в нескольких экспериментальных работах (Paoletti et al., 2010; Fonda et al., 2014). Кстати сказать, поведение квантовых вихрей во многом схоже с поведением вихрей в реальной жидкости, где эксперименты с перезамыканием несравненно проще и нагляднее.

Мы сталкиваемся с концентрированными вихрями и в космическом масштабе. До сих пор нет внятного ответа на вопрос, почему наша Вселенная так однородна, по крайней мере в масштабах галактических скоплений. Одно из объяснений этого феномена уводит нас к процессам, которые шли на самой ранней стадии зарождения мира, когда Вселенная находилась в состоянии квантовой турбулентности. Представление ее изначально в виде одной вихревой трубки наподобие смерча («*worm-hole cosmos*») допускает неограниченный рост числа степеней свободы за счет перезамыканий. При дальнейшей эволюции на поверхности



Ривулеты (ручейки) – это тонкие слои жидкости, ограниченные контактными линиями. Как и пленки жидкости, ривулеты часто встречаются в природе и в технике. Когда пленка распадается на ривулеты, это крайне негативно сказывается на эффективности теплообменников, поскольку на осушенной поверхности прекращается теплообмен. Как и пленки, ривулеты неустойчивы, на них образуются трехмерные подковообразные волны. Формы таких волн будут зависеть от их частоты (слева).

По: (Alekseenko, Aktershev, Bobylev et al., 2015)

способствует быстрому повторному запуску топочной камеры.

Разработанную технологию мы опробовали сначала на заводе СИ-БИТ, а позднее, доработав конструкцию, за счет личных (!) средств построили двухмегаваттный котел в одном из поселков Кемеровской области, где и провели испытания на жидких отходах углеобогащения (кеках), хранящихся в отстойниках многие годы. Вообще подобные отходы – это «головная боль» мировой угольной промышленности, но мы доказали, что они могут быть успешно переработаны с использованием нашей технологии.

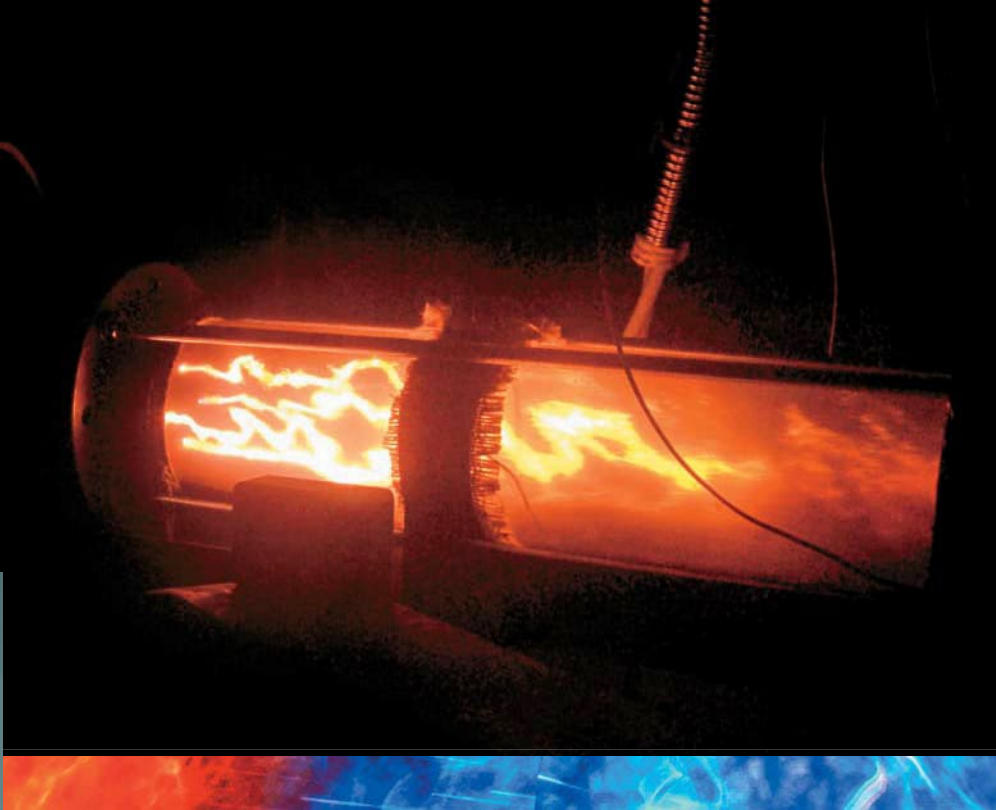
Нашелся и бизнесмен, с помощью которого построен уже десятимегаваттный котел. Такой агрегат предлагается в качестве базового котла для малой энергетики и ЖКХ – технология готова для широкомасштабного внедрения.

Конечно, при использовании водоугольного топлива за счет испарения воды КПД (по тепловой энергии) снижается на 3–4% по сравнению со сжиганием обычного угля. Но это не принципиально, так как гарантированный КПД водоугольных котлов составляет около

равномерно распределенных в пространстве трубок формировалась материя, давшая начало звездам и скоплениям галактик.

Перезамыкание в интенсивных концентрированных вихрях приводит к усиленному перемешиванию, что крайне благоприятно для любых энергетических процессов. Заметим, что аналогичные явления характерны и для Солнца. Солнечные вспышки – это результат взаимодействия магнитных трубок, которые описываются теми же уравнениями, что и вихревые. Такие трубки образуются в недрах Солнца и всплывают на его поверхность; за счет неустойчивости они деформируются, образуются петли. На сильно искривленной трубке ее участки подходят близко друг к другу, происходит быстрое перезамыкание и отрыв вихревого кольца, а в месте перезамыкания возникает мощное возмущение – та самая солнечная вспышка, которая определяет солнечную активность и оказывает сильное влияние на земной климат.

Сегодня мы можем описывать поведение магнитных трубок, генерацию возмущений, явления перезамыкания и их связь с солнечными вспышками. А это означает, что мы также можем исследовать их влияние на атмосферу Земли. Недавно в Сибирском отделении РАН была организована рабочая группа под руководством академика В. Н. Пармона, которая займется изучением комплексного влияния на климат ряда факторов, включая антропогенные выбросы углекислого газа и солнечную активность



Высокочастотное электрохимическое запальное устройство, созданное в ИТ СО РАН, генерирует высокочастотные холодные плазменные дуги, способствующие воспламенению топлива и ускорению термохимических превращений. Его можно использовать для растопки и поддержания горения котельных агрегатов, применяющих твердое топливо и углеродосодержащие отходы. Сейчас такими запальными устройствами оснащаются котлы ТЭЦ-10 (филиала ПАО «Иркутскэнерго»). Фото Е. Бутакова (ИТ СО РАН)

85%, к тому же они обладают улучшенными экологическими и эксплуатационными показателями. Если же говорить о всех десятках тысяч котлов, которые сегодня работают в России, то их средний КПД равен всего 20–40%! Таким образом, благодаря технологии ВУТ мы не только научились перерабатывать угольные отходы, но и создали типовой объект малой распределенной энергетики, что очень актуально для нашей страны с ее огромными малозаселенными территориями.

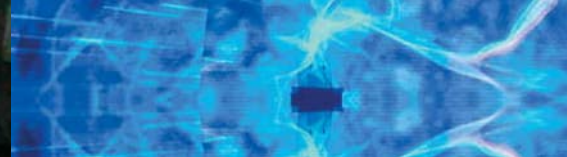
Неиссякаемое тепло глубин

Как я уже говорил, пока для нашей страны вопрос № 1 – это эффективное и экологически безопасное использование ископаемого органического топлива. Но и возобновляемые источники энергии мы не сбрасываем со счетов. К примеру, *геотермальную энергию*, которая делится на *энергию приповерхностных теплых вод* (запасов такой энергии немного) и *глубинное тепло*, идущее из ядра Земли, о чем уже говорилось ранее. Наш институт уже многие годы занимается проблемой

использования энергии геотермальной воды. В случае высоких температур и придумывать ничего не надо – обычный паросиловой термодинамический цикл на воде.

Но при температуре воды в диапазоне 70–160 °С требуются паросиловые установки с *бинарными циклами*. В таком цикле участвуют два рабочих тела: нагретая вода из-под земли и фреон или сжиженный газ с более низкой температурой кипения. В теплообменнике горячая геотермальная вода выпаривает рабочую жидкость, пары которой и вращают турбину. Здесь уже нужна другая турбина, нужно подбирать теплоносители. И хотя тепловой КПД при этом будет не очень высоким (всего лишь 10–12%), вы получите дешевую и экологически чистую энергию, без всяких выбросов CO₂.

Первая в мире Паратунская геотермальная электростанция бинарного цикла мощностью 600 кВт была запущена на Камчатке в конце 1967 г. благодаря специалистам нашего института С. С. Кутателадзе и Л. М. Розенфельду, которые получили авторское свидетельство на извлечение электроэнергии из воды с температурой



Лучший на сегодня угольный котел, созданный в Германии в 2014 г., имеет сверхкритические параметры (давление 29,2 МПа, температуру 600—620 °С) и КПД 47,5%. В России есть давний опыт эксплуатации небольших котлов с давлением 30 МПа и температурой 650 °С: подобные установки разрабатывались в московском Всероссийском теплотехническом институте (ВТИ) с 1949 г., а также в Кашире – с 1963 г. Есть и новые отечественные проекты подобных котлов. Так, ВТИ совместно с российской машиностроительной компанией «ЭМАльянс» разработал установку со сверхкритическими параметрами (давлением 29,4 МПа, температурой 610 °С) и КПД 45%. Этому же институту принадлежит проект установки с ультрасверхкритическими параметрами: давлением 35 МПа, температурой 720 °С и мощностью 800 МВт! К сожалению, на сегодня планов по строительству таких объектов в нашей стране нет, хотя они лежат в русле основной мировой тенденции развития теплотехники

выше 70 °С. Эта технология была использована как прототип при создании всех современных бинарных ГеоЭС в разных странах мира. Сегодня в России нет, к сожалению, ни одной действующей бинарной станции. Недавно на Паужетской ГеоЭС на Камчатке был сооружен новый бинарный энергоблок на фреоне R-134a мощностью 2,5 МВт, но он еще не запущен в эксплуатацию.

Чтобы отработать все режимы для таких электростанций, нужно иметь опытные установки. Ведь если в обычной теплоэнергетике единственным рабочим телом служит вода, то здесь их имеется великое множество, с совершенно разными свойствами и стоимостью: различные фреоны, перфторуглероды, сжиженные газы (изопропан, изобутан и т.д.). Нужно проводить соответствующие исследования, но возможностей для этого у нас пока нет.

Что касается глубинного тепла, то его поступление к поверхности земли на первый взгляд крайне мало (всего десятые доли Вт/м²), но зато это постоянный источник. Да и способ добычи петротермальной энергии достаточно прост: бурятся две скважины – по одной подается холодная вода, по другой выходит либо горячая вода, либо пар. Проблема в том, что породы между этими двумя скважинами должны быть проницаемыми, но на больших глубинах находятся преимущественно базальты без какой-либо заметной проницаемости.

Впервые о глубинном тепле заговорил еще знаменитый ученый-самоучка К. Э. Циолковский, который в 1897 г. нарисовал схемы со скважинами глубиной до 4 км. Позднее писатель и геолог В. А. Обручев не только написал на эту тему известный роман, но и выполнил конкретные технические расчеты по извлечению глубинного тепла. И все же годом рождения петротермальной энергетики следует считать 1970-й, когда Лос-Аламосская национальная лаборатория (США) предложила способ создания проницаемых пород путем *гидроразрыва*.

Согласно этому методу, которым пользуются все нефтяники, вода закачивается под давлением, в два раза большим, чем гидростатическое. С точки зрения техники это все выполнимо, но в результате может образоваться лишь одна трещина с зазором менее 1 мм, и теплообмен будет совершенно недостаточен для энергетических целей. Чтобы решить проблему, используют различные методы для увеличения проницаемости. К примеру, пульсациями давления расширяют дефекты в породах, а затем с помощью *проппанта* (гранулообразного материала) заполняют и фиксируют получившиеся трещинки.

Еще одна проблема – высокая стоимость глубинного бурения. К примеру, пробурить скважину глубиной 10 км обойдется в 2 млрд рублей, да при этом еще можно «промазать» и не попасть в нужное место. Нельзя также

забывать, что срок жизни таких скважин ограничен: породы остывают, и тепло начинает поступать слишком медленно. Скважина же должна эксплуатироваться не менее 25 лет, чтобы быть окупаемой.

На сегодня в мире имеется около 20 опытных петротермальных систем, доказана техническая возможность извлечения тепла с глубин до 5 км. Коммерческая же станция пока всего одна – в США, мощность ее всего 1,7 МВт.

Что же касается запасов доступного для извлечения глубинного тепла, то для США при нынешнем энергопотреблении их должно хватить на 50 тыс. лет, тогда как запасов традиционного органического топлива – всего на несколько сотен лет. О многом говорят и другие цифры: к 2030 г. в США нормированная себестоимость производства 1 кВт·ч электроэнергии из природного газа будет составлять 7,5 центов, а с учетом требования по секвестированию CO₂ – 10 центов. Себестоимость же 1 кВт·ч геотермальной энергии на основе горячей воды будет равна 4,8 цента, а петротермальной энергии – 6 центов, т.е. заметно ниже, чем из самого дешевого вида топлива на сегодня.

Неудивительно, что США имеют в отношении петротермальной энергетики самые серьезные намерения: по планам, к 2050 г. установленная мощность таких станций должна составить 100 ГВт, или 10% мощности всех электрических станций страны. В пересчете на Россию эта цифра возросла бы до 40%. Почти половина всей «электрической мощности» страны – это уже не фантастика.

Таким образом, можно утверждать, что петротермальной энергии достаточно, чтобы практически навсегда (!) обеспечить человечество энергией, и что петротермальная энергетика – наиболее перспективное и экологически чистое направление развития мировой энергетики. Поэтому мы предлагаем для осуществления интеграционный проект по оценке геотермальных ресурсов России, по результатам которого следует дать рекомендации по развитию энергетики на геотермальной воде и переходу на петротермальные источники.

Сейчас мы проводим расчеты, подбирая экономически выгодные режимы для развития у нас петротермальной энергетики. Вероятно, наиболее целесообразно создать одну-две опытные станции, на которых отработать технологию извлечения глубинного тепла. Как член Совета по приоритетному направлению «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии», созданного в рамках Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации на 2018–2025 гг., я активно продвигаю эти предложения.

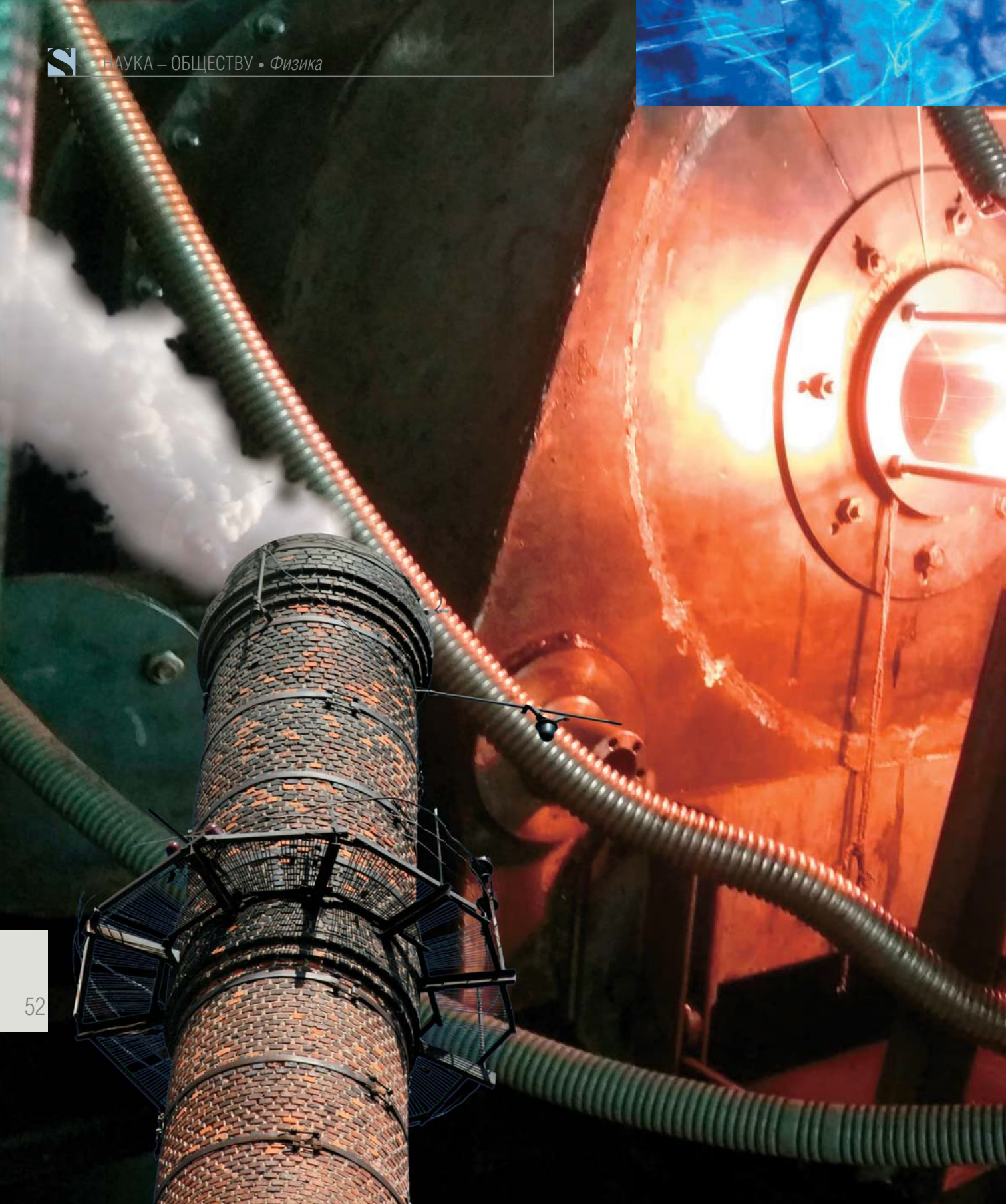


Фото Е. Бутакова и М. Роговой

Когда я говорю о новых технологиях в теплоэнергетике, я представляю академический институт. Цикл работ, который был удостоен престижной премии, касается теплофизических основ создания современного энергосберегающего оборудования. Именно основ, а не производства, хочу подчеркнуть. Мы можем заниматься научным сопровождением при разработке и производстве коммерческого образца, но производить его – это не наше дело.

В доперестроечные времена все было планомерно: академические и отраслевые институты, конструкторские бюро получали технологическое задание, которое выполнялось, а результаты использовались уже в другом месте. Теперь, кроме академических институтов и рынка, у нас ничего не осталось, и, к огромному сожалению, связи между ними практически нет.

Как будет выглядеть «энергия будущего» или, как принято сейчас говорить, новая энергетическая парадигма? В ней найдут себе место самые разные виды энергии, но у каждой страны будут свои подходы к их использованию, свой путь. К примеру, мировой лидер по ветроэнергетике – это Дания, потому что энергия ветра там является основным энергоресурсом. В Исландии ветер замещают горячие подземные воды, и 90% местных зданий отапливается за счет геотермального тепла, а исландцы лидируют в геотермальной энергетике.

Что мы имеем на сегодня? В 2003 г. вклад возобновляемых источников энергии в производство электрической энергии в мире составлял около 2%, а за последние 15 лет он вырос в пять раз! Колоссальный рост, который сдерживается лишь относительной дороговизной возобновляемых источников. Но и эта проблема решается.

Так, мой австралийский коллега и лауреат премии «Глобальная энергия» 2018 г. М. Грин разработал относительно дешевые и эффективные солнечные элементы PERC из микрокристаллического кремния. На их тыльную сторону нанесен диэлектрический слой с отражающими свойствами, благодаря чему можно преобразовать в электрическую энергию 23,6% падающего на элемент солнечного света – это настоящий мировой рекорд среди кремниевых солнечных батарей. Оборот бизнеса установок с элементами, созданными по технологии PERC, уже достиг миллиарда долларов. Это пример не только научного, но и коммерческого успеха.

Со своими запасами ископаемого топлива Россия, казалось бы, может пока не спешить. Но, и это главное, нам нельзя отстать технологически, чтобы не пришлось в будущем эти новые технологии покупать. Да, мы – сырьевая страна: сегодня доля от продаж органического топлива составляет две трети в российском экспорте. Но что будет с этим сырьем и с нами, когда большинство стран перейдут на возобновляемые источники энергии?



Литература

Алексеев С. В., Куйбин П. А., Шторк С. И. и др. Явление вихревого перезамыкания в закрученном потоке // Письма в ЖЭТФ. 2016. Т. 103, № 7. С. 516–521.

Алексеев С. В., Бородулин В. Ю., Гнатусь Н. А. и др. Проблемы и перспективы развития петротермальной энергетики // Теплофизика и аэромеханика. 2016. Т. 23. № 1. С. 1–6.

Леонтьев А. И., Алексеев С. В., Волчков Э. П. и др. Вихревые технологии для энергетики. М.: Издат. дом МЭИ, 2016. 328 с.

Мальцев Л. И., Алексеев С. В., Кравченко И. В. и др. Устройство для сжигания водоугольного топлива (варианты). Евразийский патент № 030083. Дата выдачи патента 29 июня 2018 г.

Alekseenko S. V. Efficient Production and Use of Energy // Chapter 3 in Book: Sustainable Energy Technologies, ed. K. Hanjalic, R. Van de Krol, A. Lekic. Springer, 2008. P. 51–74.

Alekseenko S. V., Nakoryakov V. E., Pokusaev B. G. Wave Flow of Liquid Films. N. Y.: Begell House, 1994. 313 p.

Alekseenko S. V., Kuibin P. A., Okulov V. L. Theory of Concentrated Vortices: An Introduction. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 2007. 506 p.

Alekseenko S. V., Aktershev S. P., Bobylev A. V. et al. Nonlinear forced waves in a vertical rivulet flow // J. Fluid Mech. 2015. V. 770. P. 350–373.



Камчатская вулканическая одиссея:

Ключевые слова: вулкан Безымянный, Авачинская группа вулканов, вулкан Удина, вулкан Камбальный, сейсмические сети, магматический очаг, вулканическая опасность.

Key words: Bezymianny volcano, Avacha volcano group, Udina volcano, Kambalny volcano, seismic networks, magma reservoir, volcanic hazard

ОТ БЕЗЫМЯННОГО ДО АВАЧИ

Новосибирские сейсмологи с 2012 г. занимаются регулярными исследованиями вулканов на Камчатке, благодаря чему один из самых активных вулканических регионов мира становится хорошо изученным по международным меркам. В летний экспедиционный сезон 2018 г. ученые планировали только снять сеть сейсмических станций с вулкана Безымянный в центральной части полуострова и установить новую сеть на Авачинской группе на юго-востоке Камчатки, в непосредственной близости от г. Петропавловск-Камчатский. Несмотря на не всегда благоприятную погоду и трудности с воздушным транспортом, все задуманное удалось реализовать. И даже в большем объеме, чем планировалось: «попутно» сейсмологам пришлось поработать на вулканах Удина и Камбальный

Вулканы Ключевской группы: Безымянный, Камень и гигант Ключевской. Камчатка, 2018

© И. В. Кулаков, 2018

Сейсмическая томография, основанная на изучении скоростей прохождения упругих волн сквозь плотную среду, сегодня является одним из основных методов изучения внутреннего строения земных недр. И чем больше регистрируется землетрясений, тем точнее и полнее оказывается полученная информация.

Одно из приоритетных направлений лаборатории сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (ИНГГ) (Новосибирск) – изучение поведения магматических очагов и внутреннего строения вулканов в различных регионах планеты с целью выявить конкретные механизмы вулканических извержений. Получение исходных сейсмических данных на вулканах – процесс непростой, требующий проведения дорогостоящих экспедиций по установке сейсмических сетей. И это в полной мере относится к Камчатке, малозаселенному региону с достаточно суровыми климатическими условиями.

Безымянный блокбастер

В 2017 г. сеть из 10 сейсмических станций была установлена на вулкане Безымянный – одном из самых беспокойных вулканов Камчатки. Расположенный по соседству с гигантским Ключевским вулканом, Безымянный до середины прошлого века даже не рассматривался как самостоятельное вулканическое образование, представляющее реальную опасность. Однако катастрофический взрыв, произошедший в 1956 г., вывел его в число наиболее активных вулканов мира.

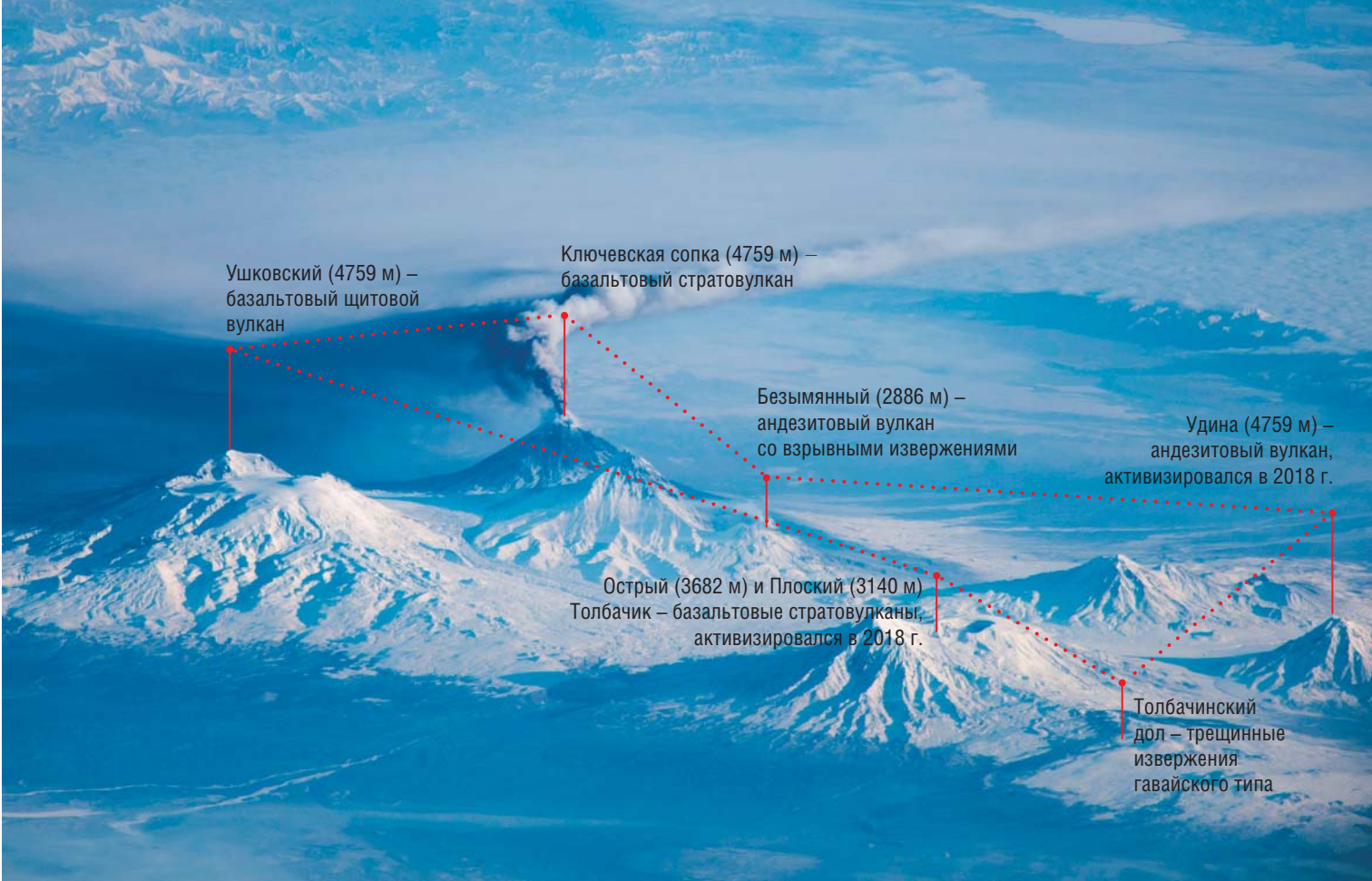
Удивительно то, что по режиму извержений и составу лав Безымянный принципиальным образом отличается от Ключевского вулкана, расположенного рядом – всего в 10 км. И этот замечательный факт не мог не обратить на себя внимание ученых.

В последние десятилетия Безымянный сотрясают регулярные взрывы, в среднем один раз в год, и иногда пепел выбрасывается на высоту более 10 км. Чрезвычайной удачей для исследователей стало довольно сильное *эксплозивное* (взрывное) извержение, которое произошло в декабре 2017 г. во время работы сети. Столб пепла при этом извержении достиг высоты около 18 км! Вместе с тем это радостное для сейсмологов событие заставило их поволноваться, поскольку сейсмические станции, расположенные в непосредственной близости от кратера, могли попасть под пирокластический поток из горячей смеси газов, пепла и камней, а данные космических наблюдений не давали однозначного ответа о траектории его распространения. Если бы поток прошелся по приборам, обнаружить и достать их было бы крайне сложно, к тому же они могли выйти из строя из-за высокой температуры.

Большая удача, что работой новосибирских исследователей заинтересовались репортеры журнала «Шпигель», одного из самых крупных и известных еженедельных журналов Германии, которые оплатили часть затрат на эту экспедицию. Операторы, которые занимались съемкой процесса полетов работ через открытую дверь вертолета, придавали им особую динамику и заставляли всех участников чувствовать себя почти героями блокбастера. Пилоты же предпринимали все возможное и невозможное, чтобы сделать съем-

КУЛАКОВ Иван Юрьевич – член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе и заведующий лабораторией сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 100 научных работ





ку максимально эффективной, и летали над дымящимся кратером и окружающими его хребтами по самым невероятным траекториям.

Каждая минута работы МИ-8 стоит очень дорого, поэтому все работали в большом напряжении. Ильяс Абкадыров из Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС) (Петропавловск-Камчатский), участвовавший в установке станций годом ранее, первым выскакивал из еще работающего вертолета и, подобно охотничьей легавой, носился кругами в поисках видимых ему одному следов присутствия станции. Затем подключались другие сотрудники, раскапывая батареи и приборы с глубины около полуметра. Как только оборудование закидывалось в вертолет и в него нырял последний человек, машина в ту же секунду взмывала вверх. Вся операция, с момента посадки до взлета, занимала не более трех минут!

Особое беспокойство вызывала верхняя станция, расположенная практически у самого кратера вулкана, ее поиском к тому же мешал снеговой покров. И когда исследователи увидели мерцающую лампочку, говорящую о том, что все это время станция успешно работала, они не могли сдержать криков радости.

Участок, где стояли две другие станции, оказался покрыт туманным облаком. Погода ухудшалась, и шансов, что туман уйдет, не оставалось – существовал реальный

известный вулканолог Б. И. Пийп (1956) так писал о Ключевской группе вулканов: «12 вулканов этой группы выступают среди хребтов и лесистых долин северной Камчатки исполинскими массивами камня и льда, образуя незабываемую панораму, полную величия и суровой красоты». Сегодня эта крупнейшая на Камчатке группа вулканов привлекает пристальное внимание вулканологов всего мира благодаря уникальному разнообразию составов и режимов извержений.

Credit: NASA, Johnson Space Center

риск потерять эти приборы вместе с информацией, поскольку еще одной возможности арендовать вертолет вряд ли бы представилось. Чтобы спасти невозполнимые научные данные, было принято решение лететь в тумане. Вертолет перемещался практически на ощупь на минимальной (2–3 м) высоте, позволяющей увидеть на поверхности хоть что-то и вовремя среагировать в случае опасности.

Благодаря высокопрофессиональной работе пилотов все станции были успешно собраны, и теперь предстоит кропотливая работа по обработке информации в лабораторных условиях. Уже сейчас можно сказать, что получен уникальный материал, позволяющий проследить процесс зарождения и осуществления вулканического взрыва.

на стр. 60



Активный купол Новый вулкана Безымянный вырос после катастрофического взрыва 1956 г. Это извержение было одним из крупнейших в прошлом веке. Вырвавшиеся из жерла пирокластические потоки и облака горячего газа растопили окрестные ледники и снега, образовав мощные грязевые потоки. Облако вулканического пепла поднялось на высоту 45 км и рассеялось по всему Северному полушарию



Для снятия с Безымянного сейсмической сети станций
был зафрахтован вертолет МИ-8



Вынужденная посадка в верхней
точке сейсмической сети
у подножия конуса Безымянного





Вулкан Безымянный не представляет для людей явной опасности, так как расположен достаточно далеко от крупных населенных пунктов. Вместе с тем в мире имеется множество похожих вулканов на территориях с высокой плотностью населения. Если с помощью данных, собранных на Безымянном, удастся обнаружить надежные предвестники приближающегося катаклизма, это поможет предсказывать извержения на других вулканах. И тем самым, возможно, спасти множество жизней.

Спящие и просыпающиеся

Другая научная задача летней экспедиции касалась еще одного вулкана Ключевской группы – Удины. До недавнего времени этот вулкан считался спящим, однако в конце 2017 г. сейсмологи начали регистрировать в его окрестностях землетрясения, интенсивность которых усиливалась во времени.

Следовало пристально наблюдать за активностью Удины, однако Камчатский филиал геофизической службы РАН (КФГС) имел в своем распоряжении для этого лишь 3–4 станции, расположенные на расстояниях 25–40 км, да к тому же лишь с одной стороны от вулкана. С их помощью нельзя было надежно определять

Выкопав самую верхнюю сейсмическую станцию, расположенную в непосредственной близости от активного вулканического конуса Безымянного, ученые с радостью убедились, что она находится в рабочем состоянии

КЛЮЧЕВСКАЯ ГРУППА ВУЛКАНОВ: НЕИСПОВЕДИМЫ ПУТИ МАГМЫ

Уникальная особенность Ключевской группы в том, что здесь, на относительно небольшой территории, сосредоточены практически все типы земного вулканизма. Из многих вулканов этой группы три проявляют высокую активность и в наше время: Ключевской, Безымянный и Толбачик. Причины такого разнообразия активно дискутируются в научном сообществе. Прояснить проблему поможет знание глубинной структуры коры и мантии под вулканами. Уже в течение нескольких десятилетий в окрестности Ключевского постоянно работает сеть сейсмических станций КФГС РАН.

За это время в районе Ключевской группы зарегистрировано более сотни тысяч землетрясений, данные о которых были использованы для построения томографических моделей коры под Ключевским вулканом. В 2011 г. новосибирские сейсмологи выявили там крупную сейсмическую

аномалию на глубине 25—30 км (Koulakov *et al.*, 2011), совпадающую с плотным облаком землетрясений (несколько десятков и даже сотен в день). Считалось, что эта аномалия представляет собой глубинный магматический очаг, питающий вулканы группы.

Повысить детальность томографических изображений позволила установка временной сейсмической сети из 25 станций вокруг Толбачика силами ИНГГ СО РАН, КФГС РАН и ИВиС ДВО РАН. Новая модель выявила три пути питания вулканов Ключевской, Безымянный и Толбачик (Koulakov *et al.*, 2017).

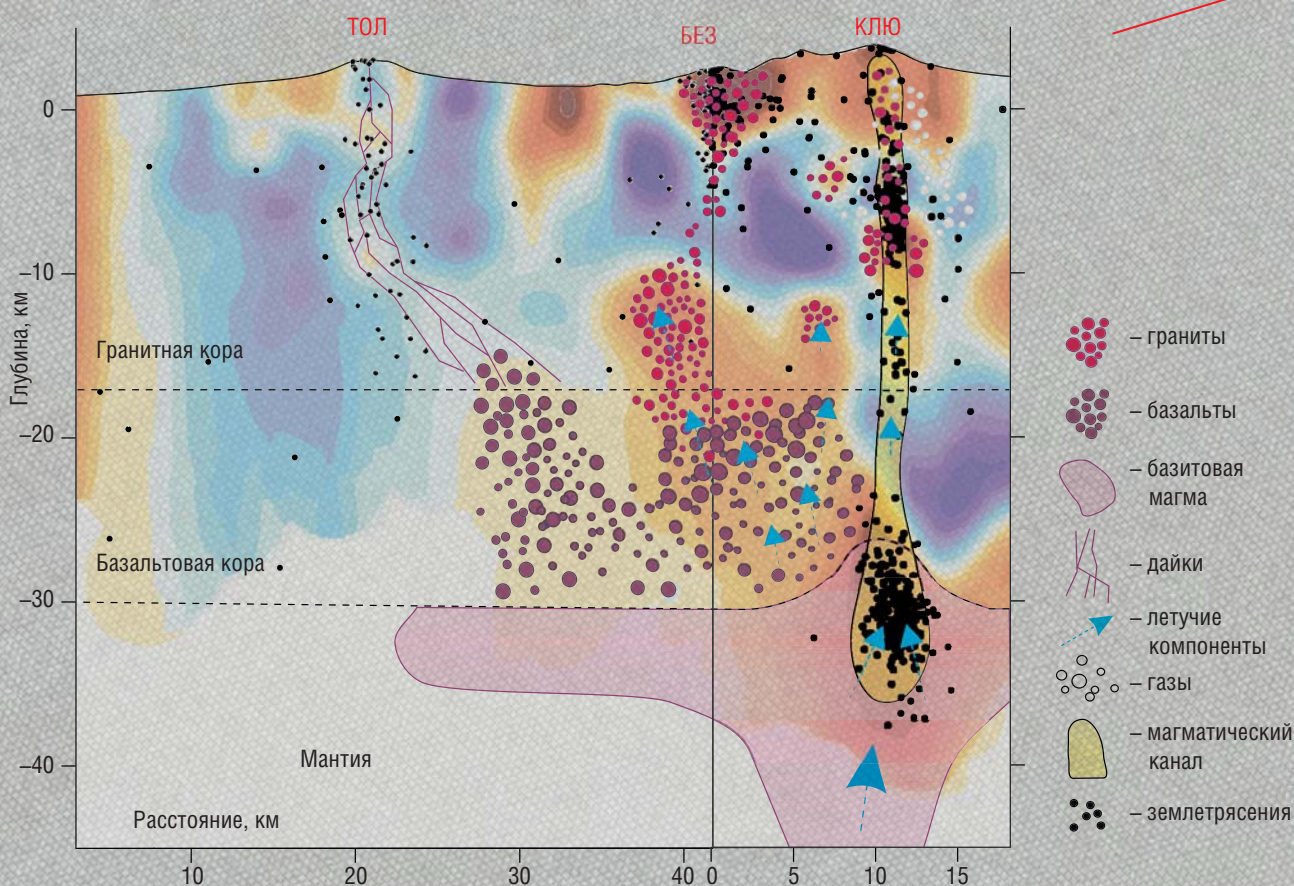
Под Ключевским имеется вертикальная «труба», по которой напрямую выносятся базальтовый материал из мантийного магматического очага. Предполагается, что этот канал обычно находится в закрытом состоянии, но открывается на короткое время, когда давление в нижележащем очаге повышается. И землетрясения на глубинах 25—30 км происходят в результате раскрытия и резкого схлопывания некоего «ниппеля» на нижнем конце канала.

Под Безымянным в средней коре обнаружена аномалия с пониженными скоростями, где может происходить

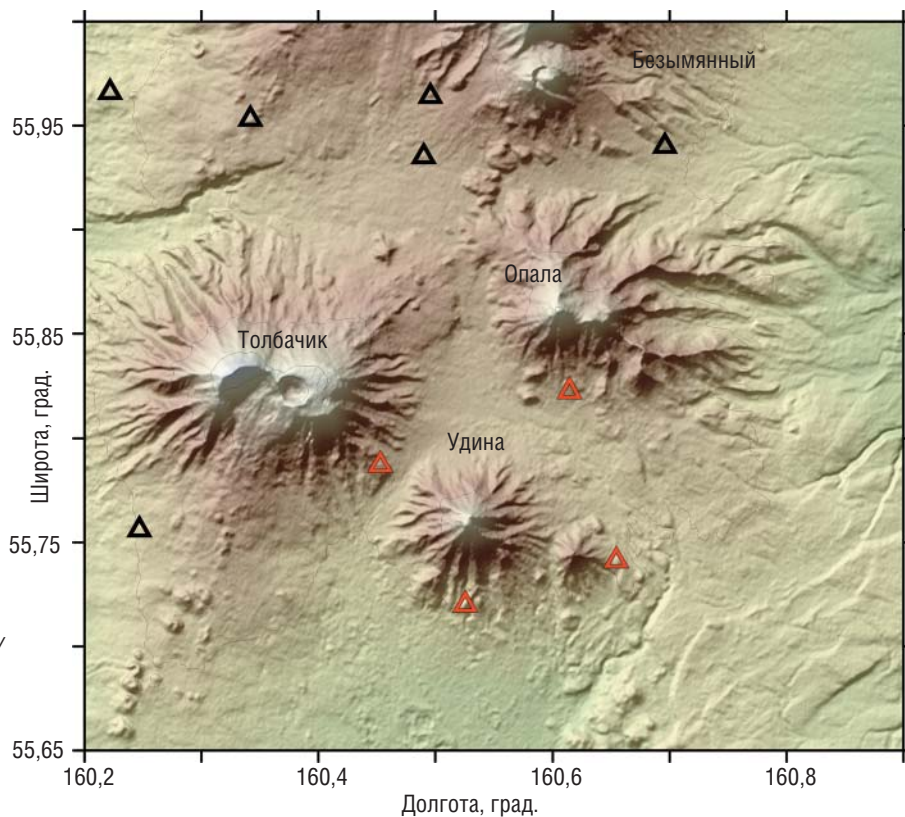
постепенное разделение магмы на тяжелую и легкую фракции и накопление растворенной воды и магматических газов. При достижении порогового количества флюидов происходит лавинная дегазация, приводящая к периодическим взрывам.

Под Толбачиком обнаружены вытянутые аномалии, очевидно, приуроченные к разломам в земной коре, по которым поднимается магма. У вулкана есть два источника, откуда приходит магма: один под Ключевским вулканом и второй – где-то на юго-востоке

На основе результатов сейсмической томографии под вулканами Ключевской группы была построена томографическая модель коры, на которой выявлены разные магматические источники, питающие Толбачик (ТОЛ), Безымянный (БЕЗ) и Ключевской (КЛЮ) вулканы. Разным цветом отмечены аномалии сейсмических скоростей поперечных волн (красные – пониженные, синие – повышенные). Точками показаны проекции землетрясений



В 2018 г. новосибирские сейсмологи установили вокруг вулкана Удина четыре сейсмические станции (красные треугольники). До этого информация с вулкана поступала лишь на станции постоянной сети КФГС РАН (черные треугольники). Карта построена на основе данных по рельефу с сайта <https://www.gmrt.org/GMRTMapTool/> (Ryan et al., 2009)



координаты землетрясений; особенно плохо определялась глубина очагов, поэтому судить об источниках магматической активности было невозможно.

Поэтому весной 2018 г. ИНГГ выделил средства и оборудование на установку на Удине четырех станций. В апреле команда сейсмологов отправилась на вулкан на вертолете МИ-8, однако погода в этой части Камчатки оказалась непредсказуемой: на горе дул штормовой ветер. Тем не менее было сделано несколько попыток посадить вертолет на разные склоны вулкана, закончившихся неудачей: участникам экспедиции пришлось пережить несколько неприятных моментов, когда казалось, что машина теряет управление.

Все шло к тому, что работы по проекту придется закончить, однако ученым помог случай. Один из пилотов, давно сотрудничавший с новосибирцами, в это время обучал одного бизнесмена летать на его собственном вертолете. Владельцу вертолета предложили помочь ученым установить станции и заодно потренироваться в полетах в тяжелых высокогорных условиях, вместо того чтобы бесцельно кружить над Камчаткой, налетывая часы.

Все участники новой экспедиции с большим энтузиазмом восприняли эту идею, а сам хозяин вертолета вместе с исследователями бурил в мерзлой земле с помощью перфоратора ямы для установки

сейсмических станций. В результате такой дружной и высокопрофессиональной работы сеть была успешно и с минимальными затратами поставлена в непосредственной близости от вулкана.

В июле эти станции вместе с записанными на них данными были сняты в то же время, что и с вулкана Безымянный. Уже по результатам предварительной обработки этой информации можно с уверенностью сказать, что магматическая система вулкана Удина вполне «жива». И если даже в этот раз активизация вулкана не разродится извержением, оно вполне может случиться в ближайшие годы.

Другой совершенно неожиданно «проснувшийся» вулкан расположен на юге Камчатке. 24 марта 2017 г. началось взрывное извержение вулкана Камбальный, ранее считавшегося потухшим. Поскольку этот вулкан находится на большом удалении от населенных пунктов и дорог, организовать систему мониторинга было чрезвычайно трудно. К сожалению, найти средства, чтобы установить сейсмическую сеть в год извержения, не удалось. И лишь летом 2018 г. ИВиС ДВО РАН организовал на этот вулкан междисциплинарную экспедицию, основная цель которой состояла в установке 10 сейсмических станций, часть из которых была предоставлена ИНГГ СО РАН.

Оборудование на вулканы
Авачинской группы
доставляли с помощью легкого
четырёхместного американского
вертолета «Робинсон 44»

Старший научный сотрудник
ИГиГФ СО РАН,
к.г.-м.н. А.В. Яковлев
монтирует оборудование
сейсмической станции.
*На заднем плане –
вулкан Корякский*





ОТ «АНАТОМИИ» ВУЛКАНОВ – К ИХ «ФИЗИОЛОГИИ»

Вулканы представляют собой наиболее быстро меняющиеся природные геологические объекты. В отличие от других структур земных глубин, где процессы протекают в масштабах времени в миллионы и миллиарды лет, существенные изменения «внутренностей» вулкана могут произойти в течение нескольких лет, дней и даже часов. Изучение этой динамики помогает понять, как устроена вся система питания магматической структуры, и установить причины извержений, что дает нам ключ к предсказанию вулканических катастроф.

Для изучения внутреннего, глубинного строения вулканических структур в большинстве случаев используется метод сейсмической томографии, когда источником сейсмического сигнала служат землетрясения, часто случающиеся под вулканом. С первого взгляда задача обнаружения временной изменчивости кажется не слишком сложной: нужно просто разделить все данные по временным интервалам, построить для каждого интервала отдельную томографическую модель и затем сравнить эти модели.

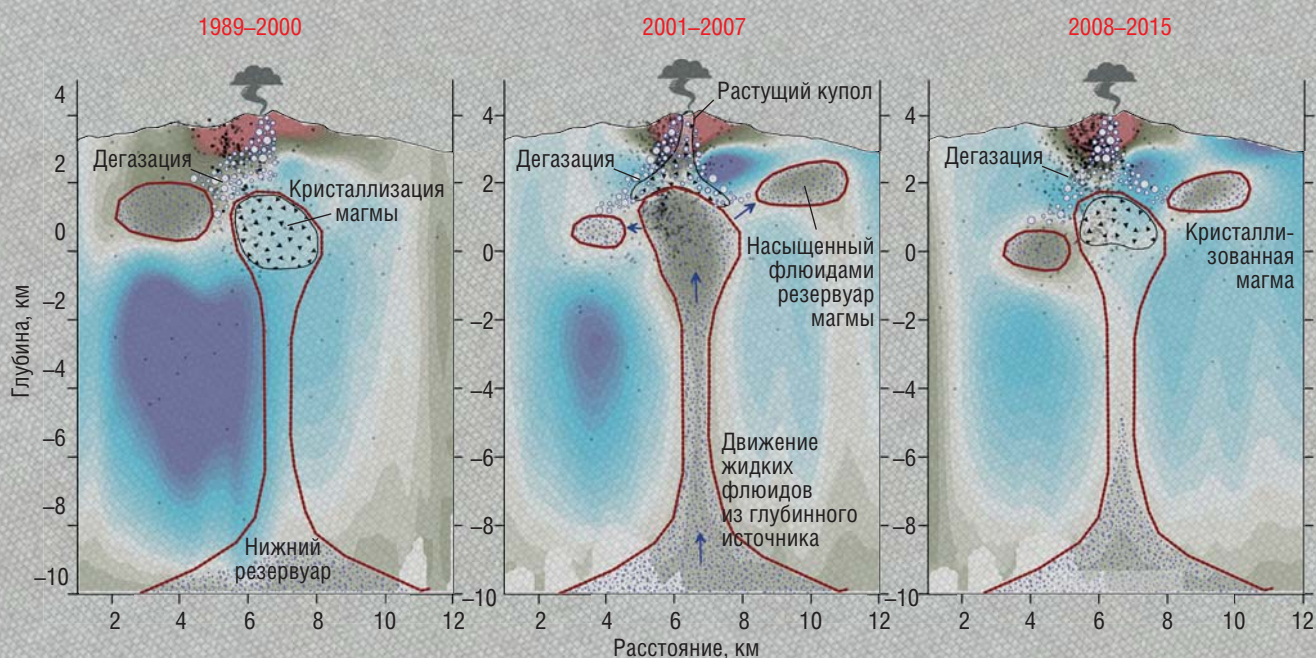
Однако, как показывает практика, такой подход не работает, поскольку «подвулканские» землетрясения случаются нерегулярно и к тому же неравномерно. В результате полученные различия между моделями будут, скорее, отражать изменения в системе наблюдения, а не реальные процессы внутри Земли.

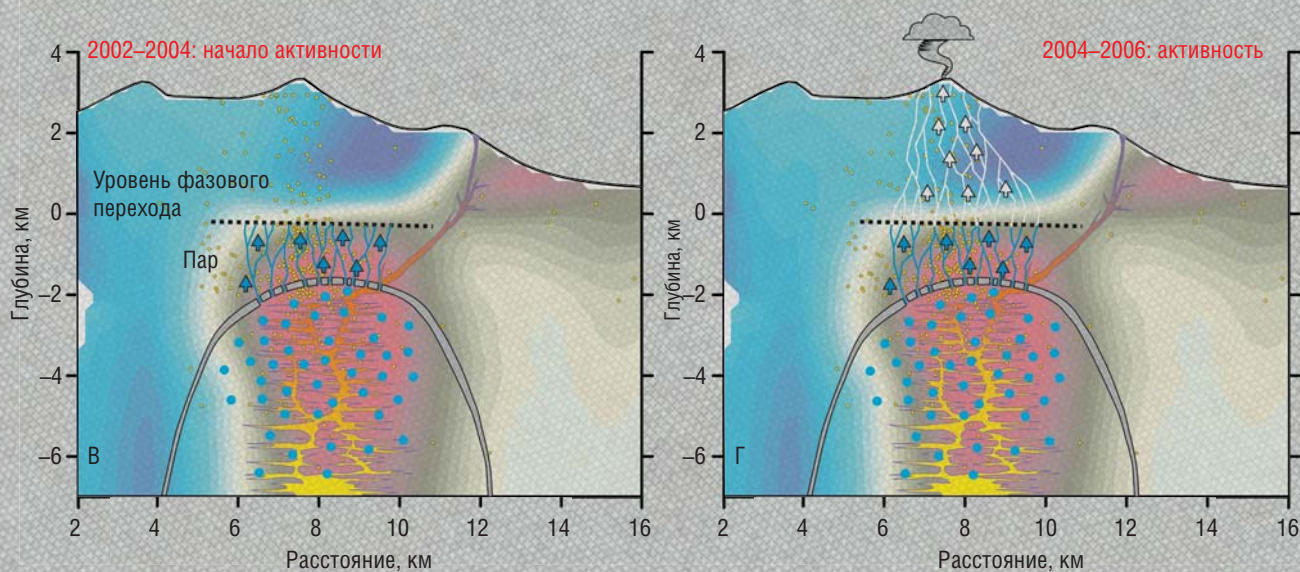
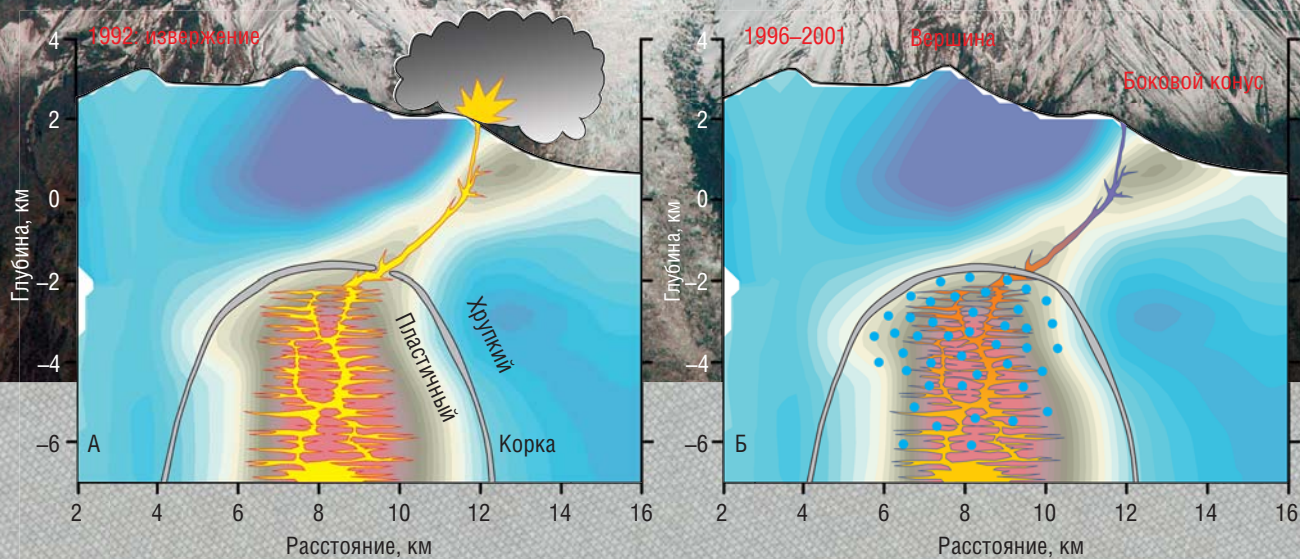
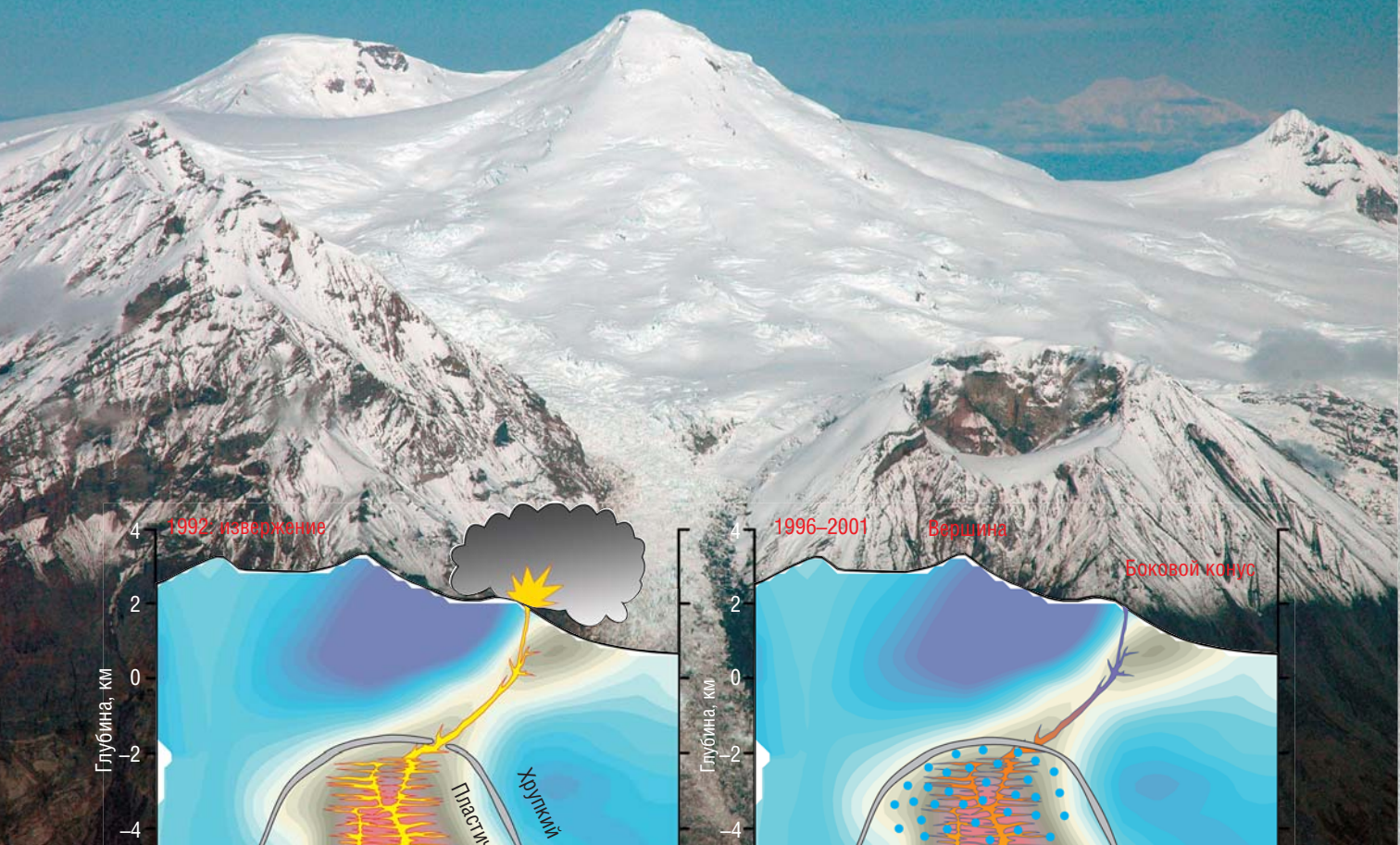
Новосибирские исследователи предложили использовать другой подход, основанный на отборе наборов данных с идентичной геометрией, что позволяет выявлять достаточно малые изменения глубинных структур. В 2018 г. этот алгоритм был применен для изучения двух активных вулканов: Галераса в Колумбии и Спурра на Аляске. Такой выбор был обусловлен, во-первых, тем, что на этих вулканах в течение продолжительного времени работала достаточно плотная сейсмическая сеть, и эти данные доступны. Во-вторых, в период инструментальных измерений на обоих вулканах наблюдались периоды активизации, которые могли приводить к существенным изменениям в их глубинном строении.



Вулкан Галерас. Колумбия. Фото Д. Кадена

На моделях вулкана Галерас, построенных по результатам повторной томографии, видно, что в 2001–2007 гг. под вулканом наблюдалась аномалия грибовидной формы, отмечающая расположение магматической камеры с питающим каналом. Разным цветом показано отношение сейсмических скоростей V_p/V_s , чувствительное к наличию жидкости (расплавов или флюидов). Коричневым цветом отмечены породы с высоким содержанием жидкой фазы





Вулкан Спурр и кратер Пик (Аляска). Фото G. McGimsey (Alaska Volcano Observatory, USGS)

Эти томографические модели отражают изменения внутри вулкана Спурр на Аляске во время сейсмического кризиса в 2002–2006 гг. В 2002 г. аномалия с повышенным отношением сейсмических скоростей V_p/V_s резко изменила свою форму, сместив верхнюю границу на 2 км вверх. На модели схематично показана возможная причина такого изменения, связанная с подъемом магматических флюидов

Облако, поднимающееся из кратера Пик. Снимок сделан 11 июля 1953 г., спустя два дня после извержения, когда на Анкоридж упало 6 мм пепла. Фото У. Велленштейна

Изучение вариаций сейсмических скоростей показало, что в период максимальной активности непосредственно под вулканом Галерас формировалось тело грибообразной формы – активная магматическая камера с питающим каналом, соединяющим ее с более глубокими резервуарами горячей магмы. В периоды пониженной вулканической активности это тело становилось меньше либо вообще исчезало. Это означает, что внедрение перегретых флюидов может приводить к быстрому плавлению магмы в камере, что, в свою очередь, приводит к извержениям. Когда приток флюидов прекращается, магматический очаг достаточно быстро затвердевает и становится «невидимым» для сейсмической модели (Koutrakov, Vargas, 2018). Вторым объектом исследования геофизиков в 2018 г. стал вулкан Спурр – самый крупный действующий вулкан Аляски. В прошлом веке крупные извержения этого вулкана произошли в 1953 и 1992 гг., причем эти, как и все другие известные



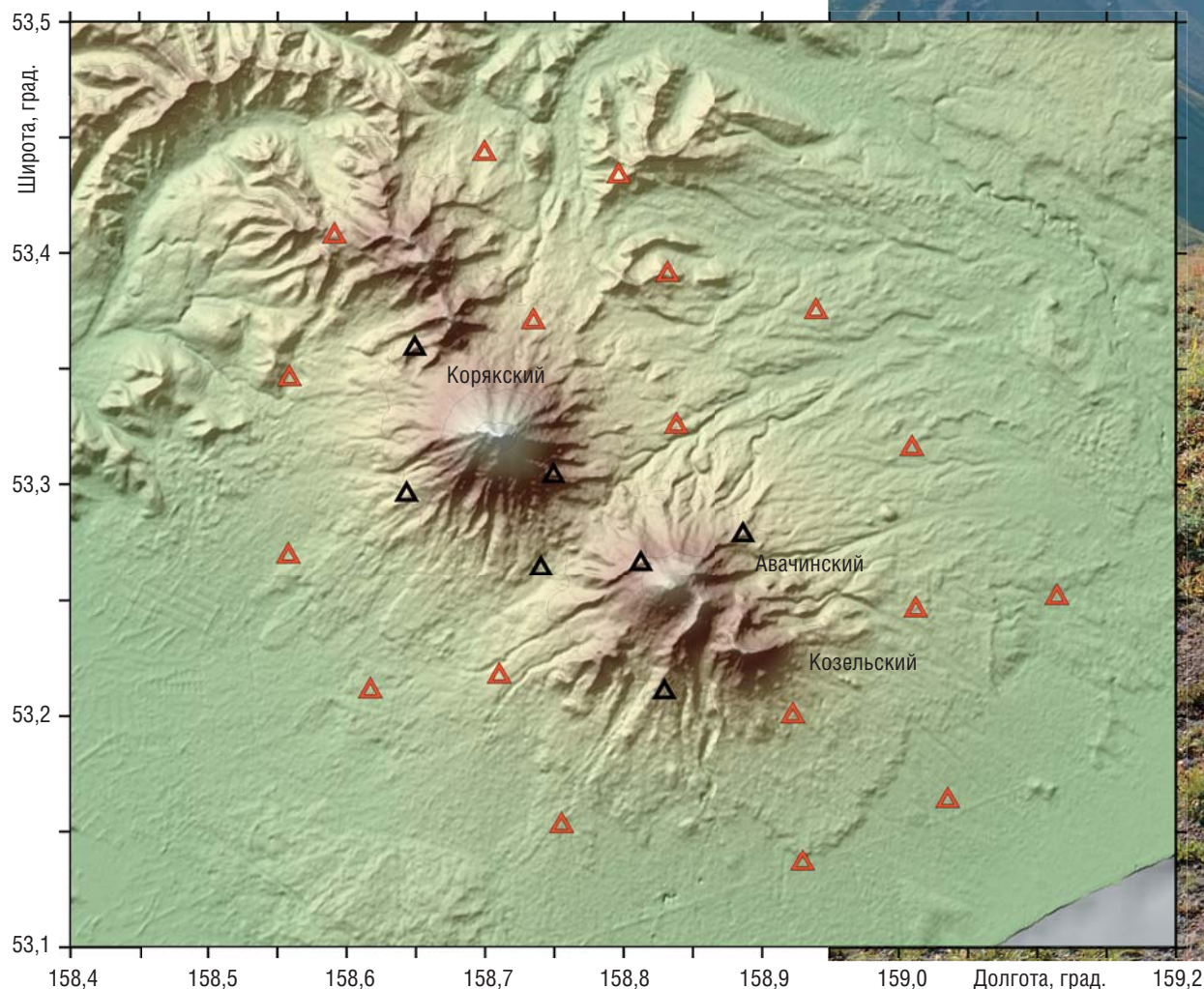
исторические извержения, шли не из основной вершины, а из бокового конуса. Когда в 2002 г. вулкан начал «трясти» в районе главного конуса, из которого началось активное выделение вулканических газов, ученые стали готовиться к новому извержению. Поскольку эта часть вулкана была «закупорена» уже много тысяч лет, извержение могло стать катастрофическим. К счастью для немногочисленного местного населения и к явному разочарованию исследователей активность вулкана к 2006 г. постепенно сошла на нет.

Результаты томографических исследований показали, что под вулканом имеется магматическая камера, верхняя граница которой до 2002 г. находилась на глубине около 5 км от дневной поверхности. При активизации вулкана магматический очаг поднялся на 2 км, а сам процесс подъема сопровождался активной сейсмичностью.

Единственным объяснением такого значительного и быстрого изменения строения камеры может быть выброс перегретой воды из магматического очага и ее проникновение под большим давлением в верхнюю хрупкую часть земной коры. На глубине 2 км вода вследствие декомпрессии превращается в пар, который, продолжая подниматься, вызывает разрывы пород и образование все новых и новых трещин. «Хруст», возникающий при этом, регистрируется приборами в виде сотен и тысяч микроземлетрясений. Такой процесс ослабляет прочность коры и тем самым готовит путь для прорыва магмы. Однако в этом случае давление в очаге оказывается недостаточным для извержения.

Возможно, через несколько десятилетий, после насыщения магмы новой порцией активных флюидов, вулкан сделает еще одну попытку извергнуться через центральный купол. Сделать это, вероятно, ему уже будет проще благодаря немалой «работе», которую он проделал в предыдущие годы.

Результаты работ новосибирских сейсмологов были опубликованы в 2018 г. в престижном научном журнале *Scientific Reports*, входящем в группу *Nature*, и в *Geophysical Research Letters*



В 2018 г. новосибирские исследователи установили на вулканах Авачинской группы сейсмическую сеть из 19 станций (красные треугольники). Около этих вулканов продолжают свою работу и станции постоянной сейсмической сети КФГС РАН (черные треугольники), установленные десятилетия назад. Карта построена на основе данных по рельефу с сайта <https://www.gmrt.org/GMRTMapTool/> (Ryan et al., 2009)

Хотя к тому времени извержение уже завершилось, приборы продолжали регистрировать достаточно сильную сейсмическую активность под вулканом, которую связывают с процессами перемещения и трансформации магмы в питающей вулкан системе. Информация, которая будет получена в течение года после установки станции, будет использована для построения трехмерной сейсмической модели коры под вулканом и определения конфигурации магматических каналов.

Присмотреть за «домашними» вулканами

Но основная цель экспедиционного сезона в 2018 г. состояла в установке сети из 18 сейсмических станций на вулканах Авачинской группы, которые расположены так близко к г. Петропавловск-Камчатский, что местные жители любовно называют их «домашними».

Главный вулкан этой группы, который так и называется Авачинский, – один из наиболее активных на Камчатке. Последние извержения, вызвавшие лавовые и грязевые потоки, произошли здесь в 1945 и 1991 гг. Городу они ничем не угрожали, но геологи находят следы катастрофических взрывных извержений, одно из которых 30 тыс. лет назад привело к разрушению значительной части вулканической постройки. Современный Петропавловск-Камчатский стоит на отложениях громадных пирокластических потоков этого извержения, что лишний раз подчеркивает потенциальную опасность Авачинского вулкана.



Академик Н. Л. Добрецов у кратера вулкана Штюбель в вулканической системе Ксудача

В истории расположенного по соседству вулкана Корякский не было таких катастрофических эпизодов, поэтому он обладает практически идеальной формой конуса. Однако отсутствие мощных взрывных извержений в прошлом не дает гарантию, что такой катаклизм не может произойти в будущем. А наличие *фумарол*, из которых выделяются вулканические газы, и периодически случающиеся рои землетрясений говорят о достаточно высокой активности магматических очагов под вулканом.

Такое опасное соседство с главным городом Камчатки заставляет серьезно относиться к мониторингу состояния этих вулканов. На Авачинском и Корякском вулканах уже давно работает 7 сейсмических станций, которые непрерывно передают информацию в центральный офис КФГС РАН, где она круглосуточно обрабатывается в режиме реального времени. Десятки лет непрерывного мониторинга позволили получить важную информацию о поведении вулканов Авачинской группы. Однако такой сейсмической сети недостаточно для построения объемной модели сейсмических

скоростей, необходимой для точного определения положения магматического очага.

В 2012 г. сотрудники ИНГГ СО РАН впервые попробовали установить здесь временную сеть из 10 станций, однако из-за недостатка опыта и неблагоприятных факторов среды большая часть станций вышла из строя уже в первые месяцы работы. На основе этих фрагментарных данных удалось построить лишь приблизительную модель строения верхней коры без детализации, необходимой для локализации магматического источника (Koulakov *et al.*, 2014).

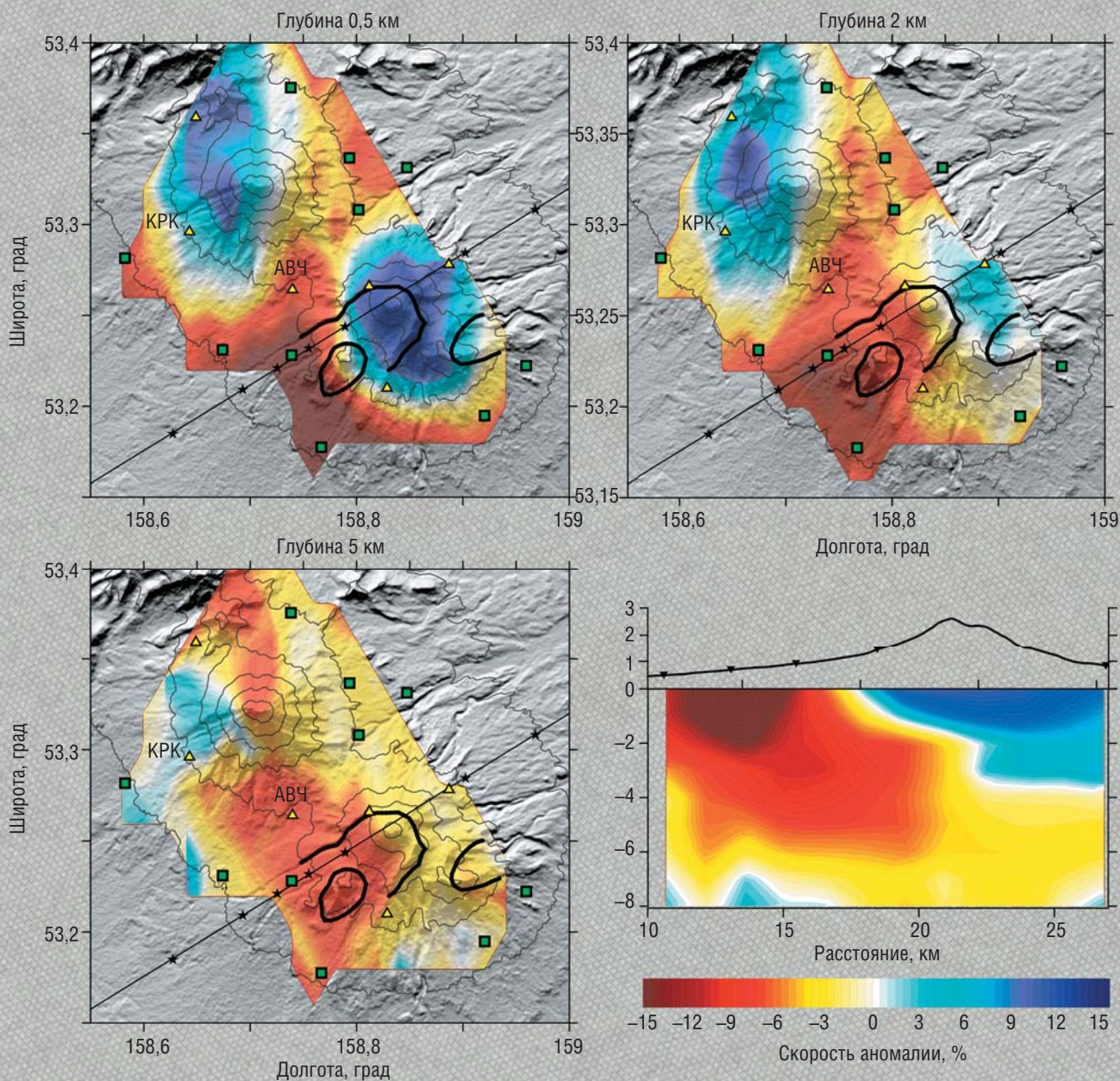
В 2018 г. новосибирцы привезли уже 18 станций, две трети из которых были оборудованы современными и надежными регистрирующими приборами зарубежного производства. В этот раз экспедиция планировалась очень тщательно, чтобы минимизировать все риски и добиться непрерывной работы станций в течение всего года. Большую часть оборудования должен был доставить на точки легкий четырехместный коммерческий вертолет «Робинсон 44» американского производства. Доставка оборудования и людей представляла собой сложную оптимизационную задачу, аналогичную известной задаче о перевозке волка, козла и капусты, так как требовалось затратить минимум времени при ограниченной вместительности машины. И даже при таких условиях общее время полетов должно было превысить шесть часов.

Благодаря прогнозу погоды, который оказался на удивление точным, удалось определить тот самый единственный день с идеальной погодой, столь редкой на Камчатке. Из-за этого даже пришлось внести изменения в ход вулканологической конференции, которая в это время проходила в Петропавловске-Камчатском и в которой члены новосибирской экспедиции также принимали участие. Все прошло по плану, так что можно надеяться, что летом 2019 г. в распоряжении сейсмологов окажется уникальный материал, позволяющий определить конфигурацию магматических очагов под вулканами Авачинской группы.





Автор и участники вулканологической конференции на краю озера, которое заполнило кратер вулкана Штюбель, образовавшийся в результате взрыва в 1907 г.



ШУМОВАЯ ТОМОГРАФИЯ ДЛЯ АВАЧИ

72

Визуализация результатов шумовой томографии под вулканами Авачинский (АВЧ) и Корякский (КРК) (в двух горизонтальных и вертикальном сечении) выполнена по сейсмическим данным, зарегистрированным в 2012 г.

В 2012 г. специалисты из ИНГГ СО РАН установили на вулканах Авачинской группы свою первую сейсмическую сеть. В предшествующие месяцы вулканы вели себя достаточно активно, демонстрируя относительно высокий уровень сейсмичности. Предполагалось, что за несколько месяцев работы станций будет получен материал, достаточный для того, чтобы построить трехмерную сейсмическую модель вулкана.

Однако Авачинский вулкан как будто «застеснялся» своих исследователей и больше не проявлял никаких признаков активности. За несколько месяцев с начала работы сети было зарегистрировано всего несколько десятков сейсмических событий, что недостаточно для использования томографического метода. К тому же морозы нагрянули тогда, когда снеговой покров был еще небольшим,

поэтому некоторые станции переохладились и перестали работать.

Результатом этого первого, не слишком удачного опыта стали сейсмические данные, полученные лишь за два месяца непрерывной работы всех станций. Поскольку классический томографический метод оказался в данном случае неприменим, пришлось искать другие способы извлечь полезную информацию. Успешной альтернативой стал недавно разработанный метод «шумовой томографии». Суть его в том, что проводится кросс-корреляционный анализ непрерывных записей для каждой пары станций, который позволяет выявить сейсмические поверхностные волны, пробегавшие между станциями. Анализ групповых скоростей этих волн на различных частотах позволяет определить трехмерное распределение скорости поперечных волн в среде.

С помощью этого метода была построена сейсмическая модель Авачинской группы вулканов. Как можно увидеть, на малых глубинах доминируют высокоскоростные аномалии, связанные с прочными постройками вулканов. На большей глубине на юго-западе от Авачинского вулкана отмечается низкоскоростная аномалия, связанная, по-видимому, с наличием здесь огромной ямы, образовавшейся в результате взрывного извержения и заполненной не слишком «прочными» осадочными отложениями. Эти данные косвенно подтверждаются и другими геофизическими измерениями. Полученная картина хорошо согласуется с предположениями, что около 30 тыс. лет назад на Авачинском вулкане произошло крупное извержение, сопровождаемое выбросом большого объема вещества и огромными пирокластическими потоками

Для всех участников международной вулканологической конференции, которая проходила в июле 2018 г. в ИВиС ДВО РАН, были организованы несколько показательных выездов в «поле», чтобы ученые из разных стран могли буквально потрогать руками вулканические структуры Камчатки. Целью одной из таких поездок стал вулкан Ксудач на южной Камчатке.

С борта вертолета было хорошо видно, что этот вулканический комплекс представляет собой серию крупных кальдер, образовавшихся в недавнем геологическом прошлом в результате нескольких катастрофических взрывных извержений. В кальдере Ксудача ученые подробно осмотрели воронку диаметром около полутора километров, заполненную невероятной красоты озером, образовавшимся в 1907 г. в результате взрывного извержения вулкана Штубель, и прямо на его берегах смогли бурно обсудить формирование подобных вулканических систем.

Так благодаря усилиям самых разных специалистов со всего мира, непосредственно работающих на активных вулканах, мы получаем все больше новых данных, которые помогают нам лучше понять суровый нрав этих опасных гигантов и спрогнозировать их поведение.

Литература

Koulakov I., Gordeev E.I., Dobretsov N.L. et al. Feeding volcanoes of the Kluchevskoy group from the results of local earthquake tomography // Geophys. Res. Lett. 2011. V. 38. N. 9. L09305.

Koulakov I., Jaxybulatov K., Shapiro N.M. et al. Asymmetric caldera-related structures in the area the Avacha group of volcanoes in Kamchatka revealed by ambient noise tomography and deep seismic sounding // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2014. V. 285. P. 36–46.

Koulakov I., Abkadyrov I., Al Arifi N. et al. Three different types of plumbing system beneath the neighboring active volcanoes of Tolbachik, Bezymianny, and Klyuchevskoy in Kamchatka // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2017. V. 122. N. 5. P. 3852–3874.

Koulakov I., Smirnov S.Z., Gladkov V. et al. Causes of volcanic unrest at Mt. Spurr in 2004–2005 inferred from repeated tomography. // Scientific Reports. 2018. V. 8. P. 17482–17489.

Koulakov I., Vargas C.A. Evolution of the magma conduit beneath the Galeras volcano inferred from repeated seismic tomography // Geophys. Res. Lett. 2018. V. 45. P. 7514–7522.

*Работа поддержана грантом РФФ 14-17-00430.
В публикации использованы фото автора*

Катастрофические извержения вулкана – готово ли к ним человечество?



ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич – действительный член РАН, профессор, главный научный сотрудник лаборатории сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск), заведующий кафедрой минералогии и петрографии геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета. Лауреат Ленинской (1976), Государственной (1997), Демидовской (1999 г.) премий, премии им. А. Н. Косыгина (2003). Автор и соавтор более 700 научных работ. Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»

Автор у кратера Штюбель, входящего в комплекс вулкана Коудач. Камчатка, 2018 г.
Фото И. Кулакова

Ключевые слова: вулканы, взрывные извержения, кальдеры, изменение климата.

Key words: volcanoes, explosive eruptions, calderas, climate change

© Н. Л. Добрецов, 2018

Мы привыкли к постоянству окружающего нас мира и нередко болезненно воспринимаем все изменения внешней среды, что неудивительно: современному человечеству повезло, так как становление и развитие нашей цивилизации происходило в благоприятный и относительно «спокойный» планетарный период. Однако продолжительность жизни человека не превышает ста лет, индустриальному обществу лишь несколько столетий, а письменной истории человечества – не больше нескольких тысячелетий. В геологическом масштабе такие временные периоды очень короткие, в долгой же истории биосферы есть «записи» о многих катастрофических событиях глобального масштаба, таких как изменения климата, вызванные мощными вулканическими извержениями. И ученые научились их «читать», но пока не могут уверенно прогнозировать предстоящие катастрофы

Из-за своих последствий извержения вулканов представляют для человечества не меньшую, а, возможно, большую угрозу, чем атомная война, падение крупного метеорита или любые другие глобальные катастрофы. И, по-видимому, эту опасность мы недооцениваем.

Атомная война – угроза вполне реальная, но в наших силах не допустить ее возникновения. Что касается метеоритов, то у нас есть только догадки, косвенные доказательства вызванных ими биосферных катастроф – достоверных свидетельств нет.

Катастрофических извержений с заметными экологическими последствиями в истории человечества было много, включая извержения вулканов Тоба и Кракатау в Индонезии. Но самое крупное извержение, фактически экологическая катастрофа, грозившая уничтожением всему живому на Земле, произошло на границе перми и триаса 250 млн лет назад. И оно было связано с извержениями сибирских *траптов* – обширной вулканической системы на северо-востоке евразийского континента, где в течение около миллиона лет одновременно извергалось множество вулканов; а также с аналогичными магматическими событиями, которые, вероятно, произошли в океанах. К сожалению, пермская океаническая кора не сохранилась.

Считается, что эта вулканическая активность привела к вымиранию почти 80 % всех биологических видов (по численности более 90 %) – практически все живое на Земле погибло, хотя потом довольно быстро, по геологическим меркам, восстановилось. И то, что случилось один раз, может повториться, но возможность сохранения (или восстановления) человеческой цивилизации после такой катастрофы представляется маловероятной.

«Год без лета»

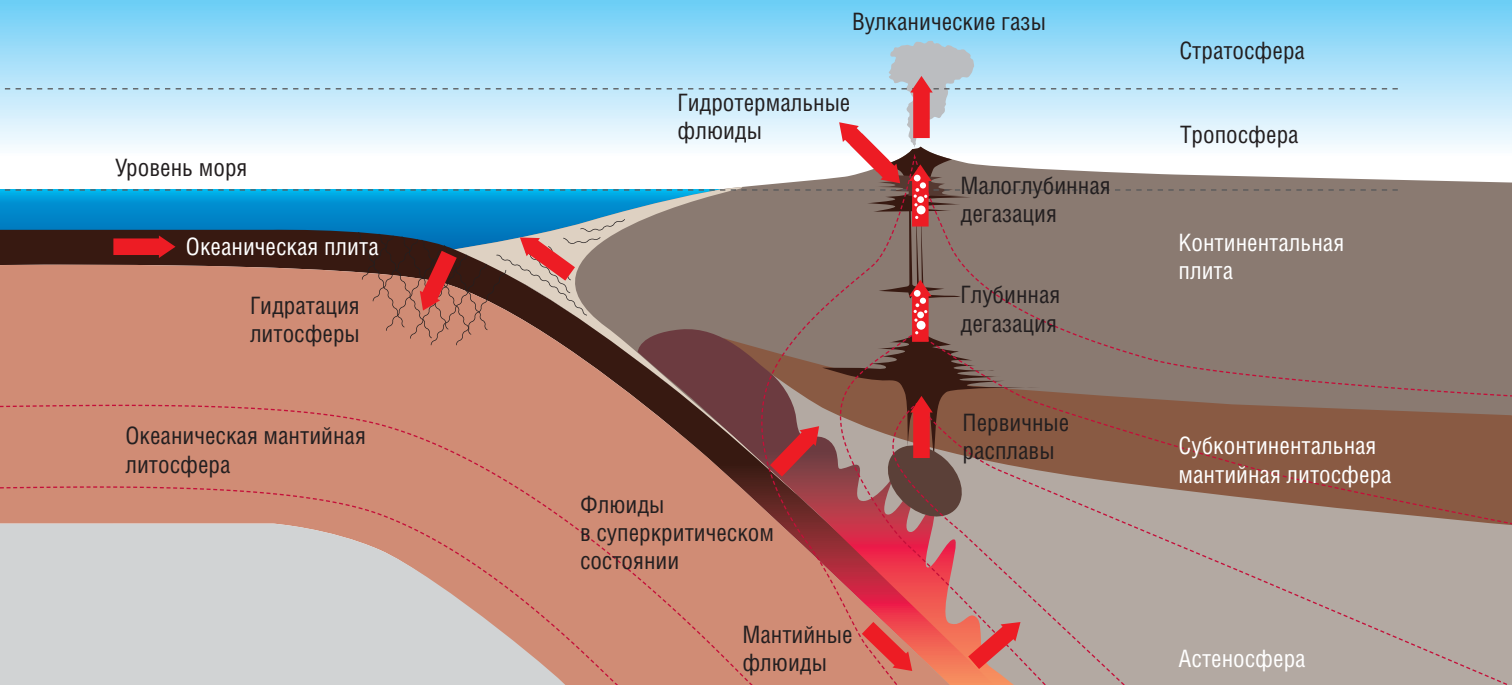
Одно из самых последних крупнейших извержений произошло 74 тыс. лет назад на вулкане Тоба, расположенном в Индонезии в зоне так называемой *субдукции*, где океаническая кора погружается под литосферную плиту. Есть предположение, что в результате этой катастрофы драматически сократилась популяция предков современных людей (De Vivo *et al.*, 2001).

Со взрывом в I в. н. э. другого индонезийского вулкана – Кракатау – сегодня связывают самое резкое похолодание за последние 2 тыс. лет. А всего лишь 200 лет назад произошло мощнейшее извержение индонезийского вулкана Тамбора, в результате которого средняя глобальная температура понизилась примерно на 1 градус. Этот «год без лета» с чередой летних заморозков вызвал на огромных территориях Северного полушария, включая США, Канаду и Северную Европу, массовые неурожаи, что привело к голоду и болезням. Подобное явление назвали «вулканической зимой» по аналогии с «ядерной»: ее причиной стали огромные количества изверженной вулканической пыли и газов, которые попали в стратосферу, где и циркулировали в течение нескольких лет, рассеивая и отражая солнечное излучение, что привело к длительному похолоданию.

Среди приведенных выше примеров катастрофических извержений лишь одно можно формально отнести к так называемым *суперизвержениям*, при которых взрывные выбросы достигают не менее 1 тыс. км³ в твердом эквиваленте. Всего на Земле известно около 20 таких супервулканов, причем за последний миллион лет, как твердо установлено, извергались три из них: индонезийский Тоба, Йелоустон на северо-западе США и Таупо в Новой Зеландии. Есть основания полагать, что такие крупные извержения могли быть в других малонаселенных областях, например на Камчатке, но их свидетельства не сохранились или еще не найдены.

Однако, как мы видим, глобальные эффекты имеют и извержения меньшего масштаба: к примеру, выбросы при извержении Тамбора в 1815 г. составили «всего» 180 км³ пепла и вулканического материала (*тефры*). Поэтому в практическом смысле нам крайне важны все вулканы, которые могут выбрасывать в верхние слои атмосферы такой большой объем изверженных продуктов, что они с учетом особенностей атмосферной циркуляции могут вызывать выраженные и длительные изменения климата.

До недавнего времени считалось, что подобные события происходят достаточно редко – в среднем один раз в тысячелетие, что внушало определенный оптимизм с учетом продолжительности человеческой жизни. Но результаты последних исследований во льдах Гренландии и Антарктиды дают нам другие, шокирующие цифры.



В механизме субдукции, в результате которой океаническая плита «уходит» под литосферную, участвуют различные механические, термические, гидродинамические, химические процессы. С зонами субдукции связаны наиболее сильные землетрясения и крупнейшие вулканические извержения, влияющие на глобальную климатическую систему Земли. В «рутинном» режиме некоторые активные вулканы способны выбрасывать в сутки десятки и сотни тысяч тонн различных газов, включая «парниковые». Среди них углекислый газ, окись углерода и метан (до 10–40% от общей атмосферной эмиссии), сернистый газ и сероводород (около 10%). По: (Zellmer et al., 2015)

Один раз в столетие?

Проследить историю катастрофических извержений, сопровождаемых стратосферными выбросами, стало возможным по находкам вулканического пепла, обнаруженного при бурении ледового покрова в Гренландии и Антарктиде. Сейчас по анализу состава найденных образцов ученые могут определить, откуда этот пепел пришел: с Камчатки, из Японии или других мест. Доклад на эту тему на международной вулканологической конференции в Петропавловске-Камчатском сделала в августе 2018 г. д. геогр. н. В. В. Пономарева (Ponomareva et al., 2013, 2015).

Число подобных работ возросло в десятки раз, правда, не в России, а в основном за рубежом. У нас подобными исследованиями занимаются специалисты из Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский) и Лимнологического института (ЛИН) СО РАН (Иркутск). Анализируя изменения изотопного состава серы в образцах льда со станций «Мирный» и «Восток», расположенных

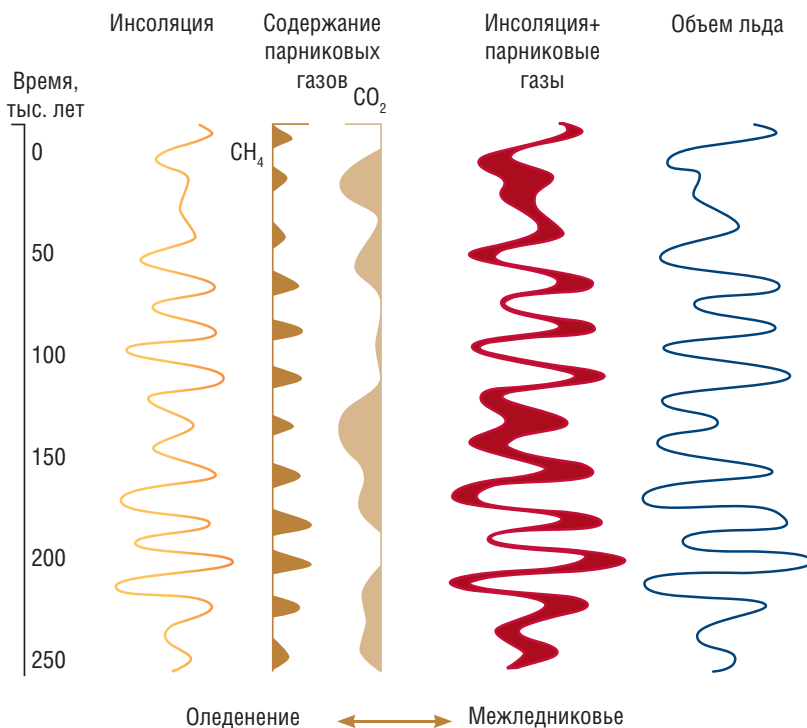
в континентальной части Антарктиды, сотрудники ЛИН СО РАН обнаружили, как и их коллеги в Гренландии, следы вулканического пепла – свидетельство катастрофических извержений (Ходжер и др., 2011, 2015). Правда, при этом они не смогли установить, где эти извержения происходили.

Результаты изучения вулканического пепла в ледовых ядрах Гренландии и некоторых других ледников показали, что извержения примерно такого же масштаба, как Кракатау или Тамбор, происходили в среднем один раз в 100 лет, т. е. на порядок чаще! Другими словами, мы можем ожидать подобное событие уже в нашем столетии. Такая периодичность – это уже другой масштаб, другие ожидания, особенно с учетом нынешней численности человечества и степени освоения территории планеты.

Главная опасность ожидаемого катастрофического извержения состоит даже не в угрозе для местного населения, которая, бесспорно, велика, а в его глобальных последствиях: загрязнении и помутнении атмосферы из-за выброса пеплов и газа. Ведь даже при относительно

Глобальные астрономические факторы изменения климата связаны с циклами Миланковича длительностью 100, 41 и 23—19 тыс. лет. На их основе рассчитываются вариации инсоляции на поверхность Земли, на которые накладываются вариации выделения основных парниковых газов (метана и углекислого газа) с периодичностью 22 и 41 тыс. лет. Суперпозиция этих кривых дает суммарную кривую глобальных климатических изменений – от эпохи оледенения до межледниковья. Соответственно, объем льда на планете минимален в межледниковые эпохи, как в настоящее время, когда материковые льды сохранились только в Гренландии и Антарктиде.

По: (Ruddiman, 2003)



небольшом извержении камчатского вулкана Безымянный в 1956 г., «проснувшегося» после 3 тыс. лет спокойствия, столб вулканического дыма в течение двух месяцев достигал 30, а временами и 80 км, а это означает, что выбросы очень долго циркулировали в атмосфере. К счастью, в то время не было самолетов, летающих так высоко, в противном случае воздушное сообщение могло быть парализовано лет на десять.

Сегодня с помощью спутников мы можем оценить детали и последствия извержений почти любого масштаба. К примеру, при последнем крупном трещинном извержении вулкана Толбачик на востоке Камчатки было выброшено много сероводорода, при окислении которого образуются и кристаллики самородной серы, потому что вулканическое облако можно было легко проследить: оказалось, что оно в течение нескольких лет «гуляло» по Азии и Арктике (Гордеев, Добрецов, 2017; Zelenski *et al.*, 2014)

Кстати сказать, и сама сера из вулканических выбросов представляет собой немалую опасность.

Именно сероводород, окислившийся до серной кислоты, мог стать одной из причин массовой гибели живых существ после извержения сибирских траппов. Серная кислота не только изливалась на головы всех живущих, но и заметно изменила состав кислотности водной оболочки планеты: рек, озер, не остался в стороне и мировой океан. А ведь в то время вся основная жизнь была сосредоточена именно в водной среде.

Не думаю, что сегодня возможен повтор катастрофы масштаба извержений сибирских траппов, но такой силы, как извержение вулкана Тамбора, – вполне возможен. И последствия подобного события для густонаселенной планеты будут катастрофичны, потому что оно повлияет не только на климат и сельское хозяйство, но и на промышленность, связь, транспорт... К примеру, в апреле 2010 г. в Исландии резко усилилась активность вулкана Эйяфьядлайокудль, что привело к выбросу в атмосферу не более 1 км³ тефры. В результате были отменены тысячи авиарейсов на севере Европы, и воздушное пространство над этой частью континента было практически закрыто на 10 дней. А если такой транспортный коллапс продлится месяцы или годы, да к тому же будет глобальным? Все последствия этого даже трудно сейчас представить...

В истории Земли периоды потепления всегда чередовались с периодами похолодания. Помимо астрономических факторов, на климат планеты оказывают влияние и глобальная океаническая «конвейерная лента» течений, которая зависит от расположения высоких гор и самих континентов. Один из самых важных факторов вариаций климата – изменение интенсивности и характера вулканизма с периодичностью до десятков тысяч лет, в результате чего в атмосферу может попадать огромное количество парниковых газов, намного превышающее современные антропогенные выбросы (Добрецов, 2010)



Участники международной вулканологической конференции рядом с системой вулкана Ксудач. Камчатка, 2018 г. Фото И. Кулакова

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА: ТАК ЛИ ВИНОВАТ CO₂?

Сегодня большинство обсуждений климатических изменений в СМИ сводятся к тому, что надо уменьшить антропогенные выбросы углекислого газа в атмосферу, чтобы уменьшить парниковый эффект, приводящий к потеплению климата. И, по мнению ряда зарубежных специалистов, современные суммарные антропогенные выбросы CO₂ примерно на порядок превышают вулканические.

Этот вопрос, безусловно, заслуживает детального изучения. Но вот что интересно: как свидетельствуют результаты исследований льдов Антарктиды и Гренландии, в которых сохранились древние воздушные «пузырьки», концентрация в атмосфере CO₂ менялась вслед за изменениями температуры, т. е. сначала менялся климат, а уже потом содержание углекислого газа в воздухе (Котляков, 2014; Добрецов, 2011). Так что есть вероятность, что сейчас мы путаем причину и следствие.

К этому же ряду следует отнести и пресловутую проблему разрушения озонового слоя вследствие выброса фреонов и других антропогенных соединений. Ученые из красноярского Института биофизики СО РАН разработали хорошо аргументированную и подкрепленную расчетами теорию о природном механизме, лежащем в основе динамики атмосферного озона (Кашкин, Хлебопрос, 2007; Хлебопрос, Кашкин, 2017)

Используя современные методы оценки объемов вулканических выбросов, мы можем распознать в прошлом Земли не только суперизвержения, но и другие крупные извержения, которые могли повлиять на климатическую систему Земли. Оценить это влияние можно как по прямым, так и косвенным признакам.

К первым относятся следы пеплов, которые обнаруживаются в Гренландии, в Антарктиде, на архипелагах Шпицберген и Новая Земля в Северном Ледовитом океане – сейчас мы можем точно установить, что эти осадки выпадали там не один год. К косвенным свидетельствам можно отнести изменения в глобальном содержании тех или иных элементов.

Например, это *аноксические события* в океанах, связанные с глобальным дефицитом кислорода, которые привели к отложению черных илов, обогащенных С и S. За период от 70 до 100 млн лет назад таких катастрофических ситуаций было несколько, и они до сих пор не нашли объяснения, порождая различные гипотезы. Если обнаружится, что эти черные илы коррелируют с вулканической активностью, мы сможем подобраться к причинам и механизмам, их породившим. Для этого надо продолжить исследование на ледниках, а также поиск других эффектов того же времени в океанских осадках. Масштаб этой работы огромный, и ее необходимо планировать.

Кстати сказать, специалисты ИВиС ДВО РАН и ЛИИ СО РАН, работающие с зарубежными коллегами, научились не только отслеживать во льдах вулканический пепел, но и оценивать по более тонким эффектам – изменению тех или иных изотопных соотношений чувствительных элементов в выпавшем снеге – величину самого извержения (Ходжер и др., 2011; Ponomareva *et al.*, 2015).

К примеру, сейчас мы знаем, что и наши камчатские вулканы способны забрасывать в верхние слои пыль и газ. Раньше в этом «подозревали» только вулкан Безымянный, который извергался последний раз в 1956 г. А теперь в тех же льдах Гренландии повсеместно обнаружены следы крупных извержений вулкана Ксудач, одного из самых интересных вулканических массивов Камчатки, который извергался дважды: в I и VIII вв. Высокая встречаемость этих пеплов свидетельствует о мощности извержения и больших объемах изверженного вещества, которое воздушными течениями на протяжении нескольких лет распространялось по всему миру.

Конечно, такие проекты – это, прежде всего, немалые деньги. В связи с этим не могу не привести показательный пример. Как известно, Гавайи представляют собой цепочку островов вулканического происхождения, которая обязана своим возникновением *мантийному плюму* – струе расплавленного вещества, поднимающейся с огромных глубин к поверхности планеты. Гавайскому

КОГДА СЕВЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ ПОЛЮС СТАНЕТ ЮЖНЫМ

Есть еще один катастрофический для человека природный феномен, который от нас не зависит, – это инверсия (смена полюсов) магнитного поля Земли. Периодичность его редкая: всего за последние 500 млн лет произошло около 500 таких событий, т. е. 1–2 инверсии за миллион лет. Внушает опасения тот факт, что последняя инверсия случилась около 800 тыс. лет назад. Срок приближается, но когда он наступит – через 30, 300 или 300 тыс. лет – никто не знает. Полюса, особенно Северный, и сегодня не стоят на месте, и временами их бег значительно ускоряется. К счастью, пока на короткий период. Но колебания будут происходить все чаще, и когда полюс перебежит 60-ю параллель, назад он уже не вернется. Процесс «раскачивания» и инверсии может занять до тысячи лет, и все это время человечеству придется туго. Правда, длительность переходного периода установлена очень приблизительно, потому что этой проблемой никто детально не занимался. Несмотря на то, что магнитное поле изучается уже более 300 лет, до сих пор не предложено ни одной правдоподобной

гипотезы, почему, и, главное, как происходит инверсия. Хотя сами эти события «записаны» в вулканических лавах, где мы наблюдаем смену полярности и можем примерно оценить период, порядка 1 тыс. лет, за который она происходит.

В отличие от вулканов, задача здесь более понятна: нужно организовать усиленный мониторинг магнитного поля, прежде всего, колебаний положения самих магнитных полюсов. Известно, что при каждой инверсии Северный полюс, к примеру, «бегал» одним и тем же путем: через нашу Чукотку и Камчатку в Японию и дальше, через Австралию, к нынешнему Южному полюсу. Сейчас детальный мониторинг магнитного полюса ведет только соответствующая служба в Канаде, но этого явно недостаточно – здесь требуются объединенные усилия международных научных организаций, в том числе российских. Кроме того, провести исследование и расчеты, как повлияет ослабление магнитного поля и его хаотические вариации во время инверсии (около 1 тыс. лет) на работу электрогенераторов, электроприборов, связи, телевидения и т. д.

плюму уже 90 млн лет, и именно он «прожог» в перемищающейся литосферной коре цепочку вулканов, как уснувших, так и активных. Гавайскую горячую точку более ста лет изучает специальный институт, большой и хорошо обеспеченный. Тем не менее до сих пор специалисты не знают, куда ведет след этого плюма – может быть, прямо к ядру?

Узнать это с помощью обычных геофизических методов затруднительно, так как остров маленький, а охват нужно делать большой. Американцы решили проблему, построив на дне океана целую сеть сейсмических станций. На это было потрачено около 4 млрд (!) долларов – чисто в познавательных целях. А еще говорят, что американцы намного практичнее, чем русские. Есть ли у нас хотя бы один подобный проект?

Сегодня уже хорошо известно, что угроза взрывных извержений с глобальными последствиями намного более реальна, чем представлялась ранее. И кажется логичным посвятить этой проблеме время и некоторые средства, хотя бы такие же 3–4 млрд долларов. Только нам, ученым в России, в отличие от американцев, их никто не предлагает.

К сожалению, активность вулканов от человека не зависит, мы не можем ни предотвратить, ни остановить извержения. В наших силах лишь уменьшить ущерб, если мы научимся предугадывать, прогнозировать такие катастрофические извержения и сможем каким-то образом подготовиться. Что конкретно можно сделать в этом направлении, пока непонятно, но если сформулировать это как глобальную проблему и привлечь внимание сообщества ученых, то появятся и конструктивные предложения.

Литература

Добрецов Н.Л. *Основы тектоники и геодинамики*. Новосибирск: НГУ, 2011. 492 с.

Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. (ТТИ-50) / Отв. ред. Е.И. Гордеев, Н.Л. Добрецов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 421 с.

Хлебопрос Р.Г., Кашкин В.Б. Антарктическая озоновая дыра – кто виноват? // НАУКА из первых рук. 2017. № 1. Т. 73. С. 20–27.

Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Осипов Э.Ю. и др. Свидетельство вулканических извержений Тамбора и Кракатау (XIX) по данным химического и электронно-микроскопического исследования снежно-фирновых кернов из района ст. Восток (Антарктида) // Лед и снег. 2011. № 1. С. 105–113.

Belousov A., Belousova M., Edwards B. et al. Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2015. V. 307. P. 22–37.

Ponomareva V., Portnyagin M., Derkachev, A. et al. Early Holocene M-6 explosive eruption from Ushkovsky volcano (Kamchatka) and its tephra as a link between terrestrial and marine paleoenvironmental records // Int. J. Earth Sci. 2013. V. 102. № 6. P. 1673–1699.

Ponomareva V., Portnyagin M., Pevzner M. et al. Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass // Intern. J. Earth Sci. 2015. V. 104. № 5. P. 1459–1482.



И рыбы уши имеют

С озером Байкал связано много легенд, порожденных таинственными, странными звуками, которые иногда нарушают озерное безмолвие. Поговаривают, что в давние времена в самые темные ночи местные жители даже пускали по воде плоты с подношениями, чтобы умилостивить неведомое, но громогласное и грозное божество. И в наше время старожилы Байкала любят поговорить о том, как по ночам из озерных вод появляется чудовище, издающее типичные шипящие звуки, переходящие в бульканье. Нового «лохнесского» монстра на Байкале так и не нашли, но ученые смогли разгадать загадку этих звуков и узнать много нового о настоящих обитателях подводных глубин – говорливых и с хорошим слухом.

Ключевые слова:

слух рыб, волосковые клетки, озеро Байкал, подкаменщиковые рыбы, голомянки, сиговые рыбы, байкальский омуль, шумовое загрязнение.

Key words: fish hearing, hair cells, Lake Baikal, sculpin fishes, oilfish, whitefishes, Baikal omul, noise pollution

«Изучение эволюции в царстве животных показывает, что ухо — самый поздний из органов чувств и, несомненно, самый тонкий и самый удивительный».

*Д. Х. Джинс,
британский физик-теоретик,
астроном и философ*



Еще не так давно водные пространства считались «миром безмолвия»: уверенность в неспособности подавляющего большинства водных организмов издавать звуки даже породила известную народную поговорку «нем, как рыба». В действительности это, конечно же, не так. Не говоря уже о таких водных млекопитающих, как тюлени, которые весьма словоохотливы, даже на первый взгляд действительно «немые» океанические рыбы способны общаться посредством ультразвука, посылая сигналы через подводный акустический канал.

Непосредственным доказательством существенной роли акустической коммуникации в жизни рыб являются известные с незапамятных времен способы ловли на звуковую «приманку» (Buerkle, 1968; Кузнецов, Кузнецов, 2007). Звуки, аналогичные тем, которые рыбы издают при питании, движении, трении о различные поверхности, нападении и обороне, создают акустические поля, и на них рыбы отвечают устойчивыми поведенческими реакциями.

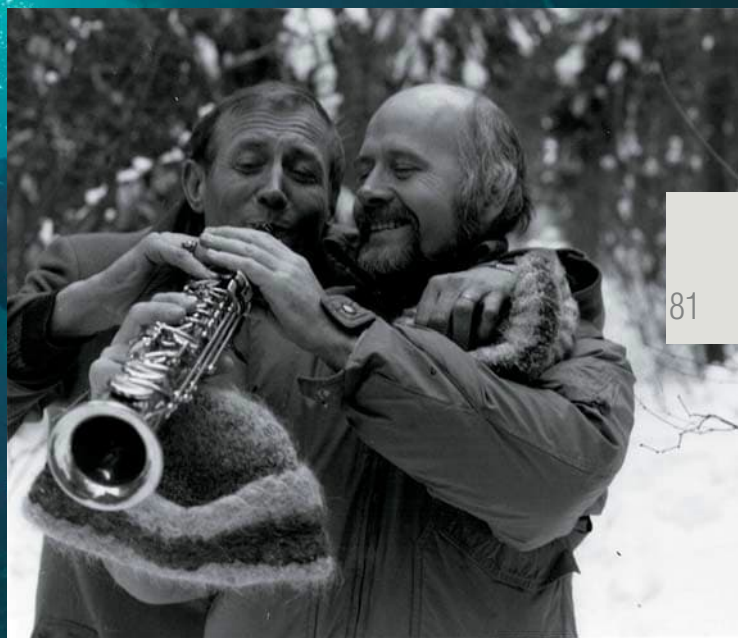
В 1986 г. знаменитый американский саксофонист и основоположник экологического джаза Пол Уинтер, заинтригованный мистическими звуками Байкала, приехал в Сибирь, чтобы записать их в самых труднодоступных уголках озера.

На фото справа: Уинтер с поэтом Евгением Евтушенко. Фото из архива П. Уинтера

Слева вверху – Байкал и знаменитый байкальский омуль (Coregonus migratorius). Фото С. Дидоренко

САПОЖНИКОВА Юлия Павловна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории ихтиологии Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Член Всероссийского гидробиологического общества и Общества рыбного промысла Британских островов. Автор и соавтор 31 научной работы

© Ю. П. Сапожникова, 2018





Современная биологическая гидроакустика накопила огромное количество фактического материала относительно «звучания» различных гидробионтов и биологического значения этого феномена. Возникла эта наука в период Второй мировой войны в связи с массовым применением техники подводной шумопеленгации, которую использовали для обнаружения вражеских судов, в том числе подводных лодок. Именно тогда было обнаружено большое число водных организмов (ракообразных, рыб, млекопитающих), способных издавать разнообразные интенсивные звуки (Протасов, 1965).

В наши дни биоакустика рыб приобретает особую значимость в связи с развитием рационального рыболовства и рыбоводства. Совершенствование методов разведки рыбных запасов, разработка новых приемов вылова, автоматизация трудоемких процессов по звуковому управлению движением рыб в гидротехнических сооружениях невозможны без знания закономерностей акустического поведения этих водных организмов.

Разговор на ультразвуке

Диапазон слухового восприятия человека достаточно широк – между 16 Гц и 20 кГц, хотя с возрастом наша чувствительность к высоким частотам снижается. Максимально же человек восприимчив к так называемым «речевым частотам», 1–3 кГц.

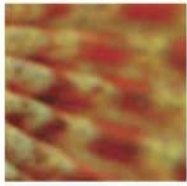
Большинство рыб чувствительны к звукам в более узкой и сдвинутой ближе к низким частотам области: в диапазоне от сотен герц до 5–6 кГц (Smith *et al.*, 2011).

Говорливые обитатели Байкала: *вверху* – байкальская нерпа (*Pusa sibirica*), *справа* – длиннокрылая широколобка (*Cottocomephorus inermis*) и большеголовая широколобка (*Batrachocottus baicalensis*). Фото С. Дидоренко

Но у ряда других водных позвоночных диапазон частот, воспринимаемых слуховым аппаратом, расширяется в ультразвуковую область, например, у *открытопузырных рыб*, у которых слуховой аппарат соединен тремя парами подвижно соединенных косточек с *плавательным пузырьком* – выростом передней части кишечника, заполненным газом.

В частности, атлантическая сельдь способна воспринимать и издавать ультразвук частотой до 180 кГц (!), причем выходит он из анального отверстия рыбы вместе с воздухом (Mann *et al.*, 1998; Plachta *et al.*, 2004). Дельфин, основной потребитель сельди, также способен издавать и улавливать звук подобной частоты, хотя природа звукоизвлечения у него менее причудлива. Именно по ультразвуковым сигналам этот хищник определяет месторасположение своей добычи. Сельдь же, в свою

Обыкновенная и всем хорошо знакомая атлантическая сельдь способна издавать и воспринимать ультразвук в килогерцовом (до 180 кГц) диапазоне! При этом считается, что у человека ультразвук на высоких частотах может вызывать перегрев внутренних органов, ожоги и обезвоживание тканей и их микроразрывы в результате кавитации (образования газовых пузырьков)





На поверхности туловища этого представителя байкальских широколобок отчетливо видны каналы сейсмочувствительной системы. Фото С. Дидоренко

очередь, способна распознать приближающегося дельфина по звуковым сигналам, которые он издает при охоте, и, проявив оборонительную реакцию, уйти от опасности.

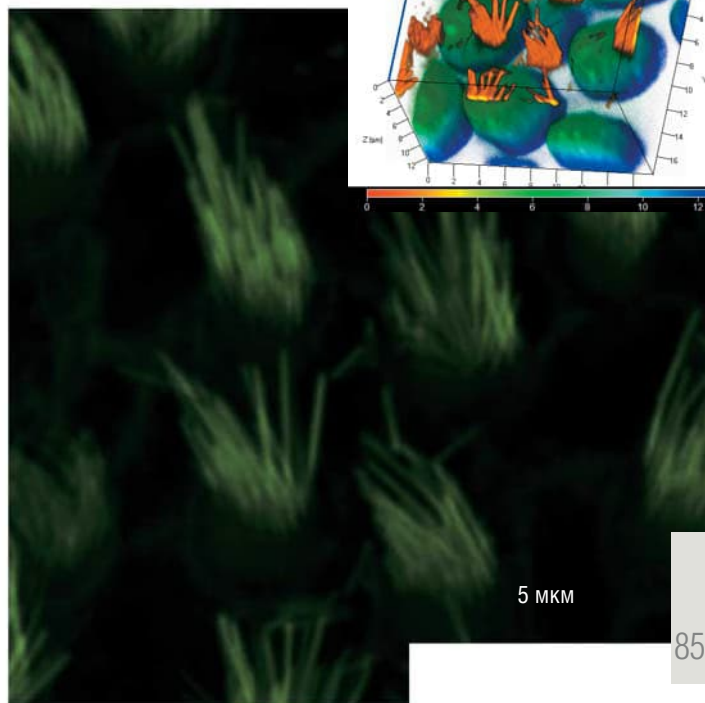
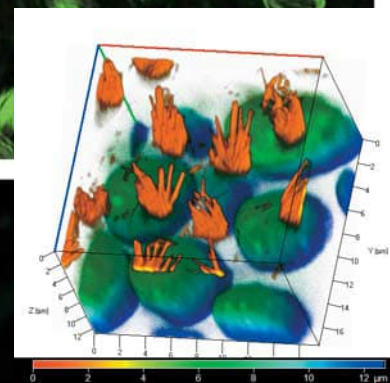
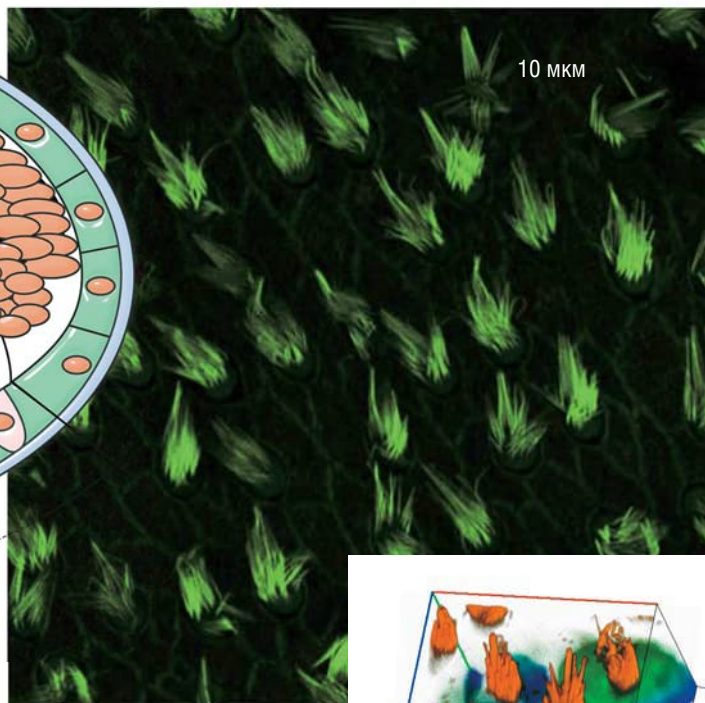
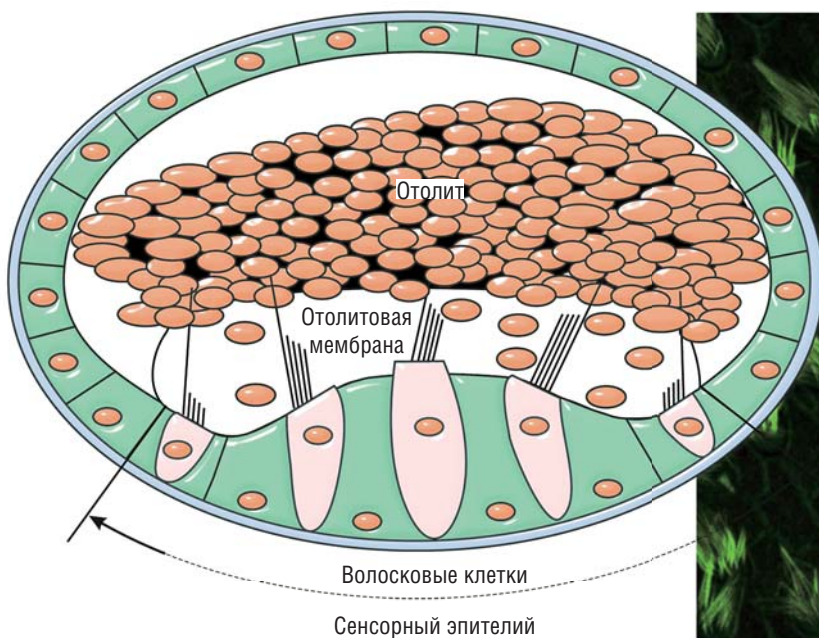
Схожие примеры акустического поведения можно найти и среди байкальских эндемиков – уникальных обитателей пресноводного «моря». Сейчас особое внимание уделяется изучению акустического поведения байкальских нерп. Фактически эти ластоногие воспринимают звуки от низких (около 100 Гц) частот до ультразвуковых 30 кГц (Kastak, Schusterman, 1998; Cunningham, Reichmuth, 2016).

Слуховые способности эндемичных байкальских рыб во многом определяются наличием или отсутствием у них плавательного пузыря (Sapozhnikova *et al.*, 2016, 2017). Так, все байкальские бычки-подкаменщики из подотряда *рогатковидных рыб* (Cottoidei), включая широко известную голомянку, не имеют плавательного пузыря, что указывает на их происхождение от донных форм. Максимум их слуховой чувствительности лежит в более низкочастотном (300–700 Гц) диапазоне

по сравнению с пузырными *сиговыми рыбами* из семейства Coregonidae (например, байкальским омулем) со слуховым диапазоном 400–1500 Гц.

Видообразование байкальских сиговых и рогатковидных рыб представляет собой уникальный пример разных эволюционных механизмов, которые «работали» в одном водоеме с весьма различающимися экологическими условиями. Сиговые характеризуются небольшим видовым разнообразием (всего три вида), зато внутри них можно выделить разные популяции, субпопуляции и морфо-экологические группы (прибрежные, пелагические, глубоководные), каждый – с соответствующими адаптациями к обитанию в определенных условиях среды. Рогатковидные же рыбы адаптировались к жизни в Байкале путем формирования целого «букета» из трех-четырёх десятков видов, отличающихся узкой специализацией.

Основная нагрузка при адаптации к определенной экологической нише ложится на сенсорные системы, которые контактируют с внешней средой и должны реагировать на малейшие ее изменения. И благодаря



На схеме внутреннего уха рыбы показано строение отолита и слухового эпителия, в состав которого входят чувствительные клетки с волосками разной длины. По: (Сапожникова и др., 2007)

Справа – микрофотографии клеток слухового эпителия байкальских сиговых рыб с хорошо заметными на поверхности сенсорными волосками, а также его 3D-компьютерная модель. Фото автора

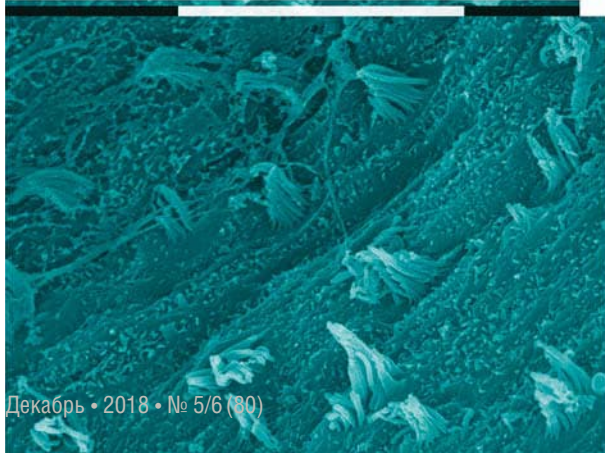
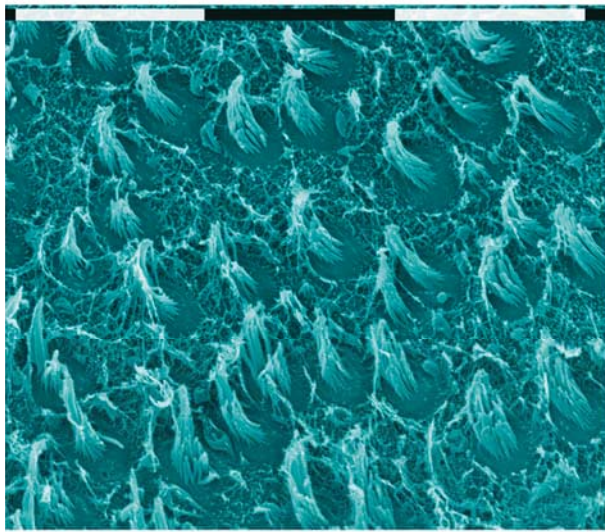
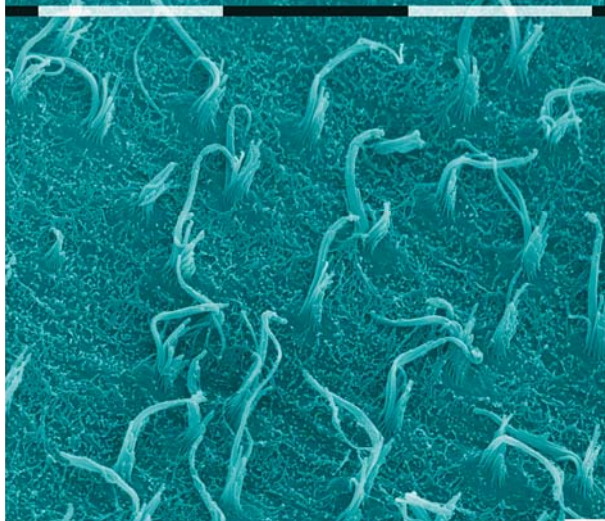
своему экологическому сходству байкальские рыбы служат прекрасным объектом при поиске морфологических коррелятов сенсорной чувствительности, а также для сравнительных исследований адаптации слуховой системы.

«Ухо от селедки»

Каким же образом рыбы воспринимают звук? Когда мы говорили о слухе рыб, мы немного лукавили. У рыб, помимо «настоящих» ушей, имеется так называемая боковая линия, или сейсмочувствительная система. И хотя некоторые полагают, что рыбы воспринимают звуковые сигналы в воде исключительно посредством этого органа, это далеко не так: они используют его лишь в ближнем звуковом поле, т. е. на расстоянии нескольких сантиметров от источника звука, и в достаточно узком диапазоне частот.

Широкий спектр звуков с дальнего расстояния рыбы воспринимают с помощью внутреннего уха, наружное, представленное привычными для нас ушными

Польская поговорка «достать ухо от сельди», в переводе на русский означая «остаться с носом», стала популярной благодаря криминальной комедии «Ва-банк» Ю. Махульского. «Ухо от селедки» стало синонимом невозможного. Но в лице селедки незаслуженно обогнали всех рыб, у которых хотя и нет наружных ушных раковин, зато имеется хорошо «оборудованное» внутреннее, а у некоторых – даже среднее ухо



раковинами, у них отсутствует. Для некоторых пузырных рыб характерно наличие также *среднего уха*, состоящего из привычных слуховых косточек: молоточка, наковальни и стремечка (Касумян, 2005).

В структурном отношении внутреннее ухо рыб представлено так называемыми *отолитовыми органами*, довольно сложно устроенными парными образованиями, где располагаются *отолиты* – большие слуховые камешки карбонатной природы. Кстати сказать, по ним, как по спилу дерева или чешуе, можно определить возраст особи (Чугунова, 1959; Chilton and Beamish, 1982; Сапожникова и др., 2010).

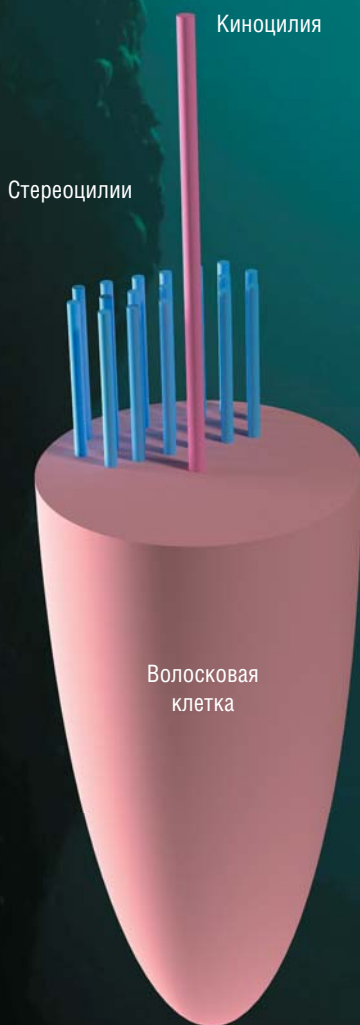
В непосредственной близости к отолитам находится *слуховой эпителий*. В его состав входят *волосковые клетки*, которые воспринимают колебания отолита над отолитовой мембраной и играют главную роль в восприятии звука. Общее число их составляет от нескольких тысяч до миллионов у разных рыб (Сапожникова и др., 2007; Sapozhnikova *et al.*, 2016, 2017).

Волосковые клетки различаются по наличию на их внешней поверхности *сенсорных волосков* разной длины (нескольких коротких – *стереоцилий*, и одного длинного – *киноцилия*). Стимуляция этих клеток происходит за счет движения слухового камешка, в результате чего сенсорные волоски на поверхности каждой клетки наклоняются (Винников, 1982; Popper *et al.*, 2005).

Как показано на золотой рыбке, в разных участках слухового эпителия, отличающихся длиной сенсорных волосков, звуковые сигналы вызывают разные электрофизиологические ответы (Sugihara, Furukawa, 1989). Известно также, что у четвероногих позвоночных клетки с более короткими волосками более восприимчивы к высокочастотным колебаниям (Enger, 1981; Saunders, Dear, 1983). Таким образом, можно сделать вывод, что диапазон слухового восприятия большинства рыб непосредственно зависит от расположения чувствительных клеток в составе слухового эпителия и длины сенсорных волосков: чем они длиннее, тем лучше рыбы будут «слышать» низкочастотные звуки.

В слуховом органе конкретного вида рыб обычно присутствуют клетки разных типов (Popper *et al.*, 2005), и их число и соотношение может определяться экологической специализацией. Примером могут служить

Волосковые клетки подразделяют на типы в зависимости от длины самого длинного волоска (киноцилии) и максимальной длины коротких волосков (стереоцилий), число которых на поверхности сенсорной клетки у байкальских рыб варьирует от 10 до 30 штук (Sapozhnikova *et al.*, 2016, 2017). Слева – разные типы волоскового эпителия у сиговых рыб Байкала (байкальского омуля, сига и пыжьяна)

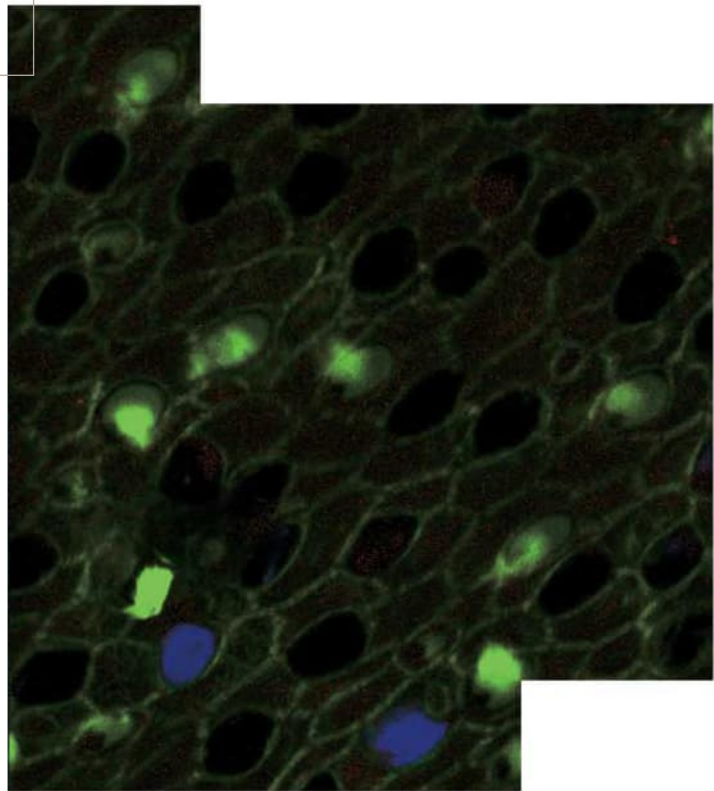


Байкальские голомянки (*Comephorus* sp.) – типичные обитатели толщи вод, практически не связанные со дном. Поэтому большая часть волосков чувствительных слуховых клеток у этих рыб отклонена в горизонтальном направлении относительно оси тела рыбы.
Фото С. Дидоренко

На поверхности слухового эпителия байкальских бычков-подкаменщиков (*Cottoidei*) отчетливо видны сенсорные волоски: стереоцилии и киноцилия. В зависимости от образа жизни и экологических условий рецепторный аппарат может быть ориентирован по-разному относительно оси тела рыбы. К примеру, у донных видов волоски ориентированы преимущественно в вертикальном направлении, что позволяет им лучше воспринимать звуковые сигналы, постоянно отражающиеся от дна.
По (Sapozhnikova et al., 2016)



Фото И. Ханаева



Как показали эксперименты на байкальских сиговых рыбах, стимуляция интенсивным однотональным звуком приводит к различным повреждениям их слухового эпителия: *слева* – эпителий рыб, выращенных в обычных условиях, *справа* – рыб, подвергшихся шумовому воздействию

рогатковидные и сиговые рыбы Байкала, о которых уже говорилось. Их виды и внутрипопуляционные группы, обитающие в различных экологических условиях, имеют разную площадь слухового эпителия и плотность расположения волосковых клеток, а также разные морфотипы и длину сенсорных волосков.

Так, для обитателей мелководной зоны характерно наличие клеток с преимущественно короткими стереоцилиями, воспринимающими более высокочастотные звуковые колебания, которые легче идентифицировать на фоне низкочастотного шума прибрежной зоны. У обитателей «открытой» воды, напротив, увеличивается площадь, занятая группировками клеток с удлиненными волосками, что, вероятно, способствует восприятию низкочастотных акустических волн.

Что касается способности рыб определять направление на источник акустических сигналов, то она зависит от еще одной важной характеристики слухового аппарата – *морфологической поляризации* волосковых клеток. Проще говоря, от того, как у этих клеток будет располагаться рецепторный аппарат (волоски) по отношению к оси тела рыбы: горизонтально или вертикально. Уникальность схем морфологической поляризации проявляется в неповторимом рисунке ориентации волосковых клеток для каждого вида рыб. Эти особенности связаны со стереотипами в плавательном поведении, которое, в свою очередь, определяется образом жизни особей.

Так, для донных видов байкальских рыб отмечено доминирование вертикальной ориентации волосковых клеток, что свидетельствует о высокой чувствительности к смещению отолита в вертикальном направлении. Подобную тенденцию демонстрирует и ряд других, ранее изученных донных рыб: пятнистый гурами, мормировые рыбы, золотая рыбка и бычок-буйвол (Popper, Coombs, 1982; Saidel *et al.*, 1995; Lovell *et al.*, 2005). У частично связанных с дном рыб, таких как озерный сиг, а также налимы и атлантическая треска, волоски чувствительных клеток располагаются как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Подобная ориентация свойственна и для морских мурен, угрей и некоторых других рыб, которые являются активными хищниками и большую часть времени проводят, затаившись в засаде (Popper, 1979; Buran *et al.*, 2005). Всем этим рыбам важно чувствовать малейшие колебания донных организмов и совершать рассчитанные движения в среде, где встречается много препятствий (Лычаков, 1994).

Зато у рыб, обитающих в толще воды, таких как байкальские голомянки, горизонтальная ориентация волосковых клеток превалирует над вертикальной. Голомянки, конечно, могут совершать и вертикальные миграции, но в целом ведут малоподвижный образ жизни, «паря» в воде, и потребность в анализе сильных рывковых ускорений у них небольшая (Кожова и др., 1979; Сиделева и др., 1992; Лычаков, 1994, 2002;

Мамонтов и др., 2004). Доминирование горизонтальной ориентации волосковых клеток было ранее обнаружено и у мезопелагических брегмацеровых и мерлузовых рыб, обитающих в глубокой «сумеречной» зоне (Porrer, 1980; Lombarte *et al.*, 1992).

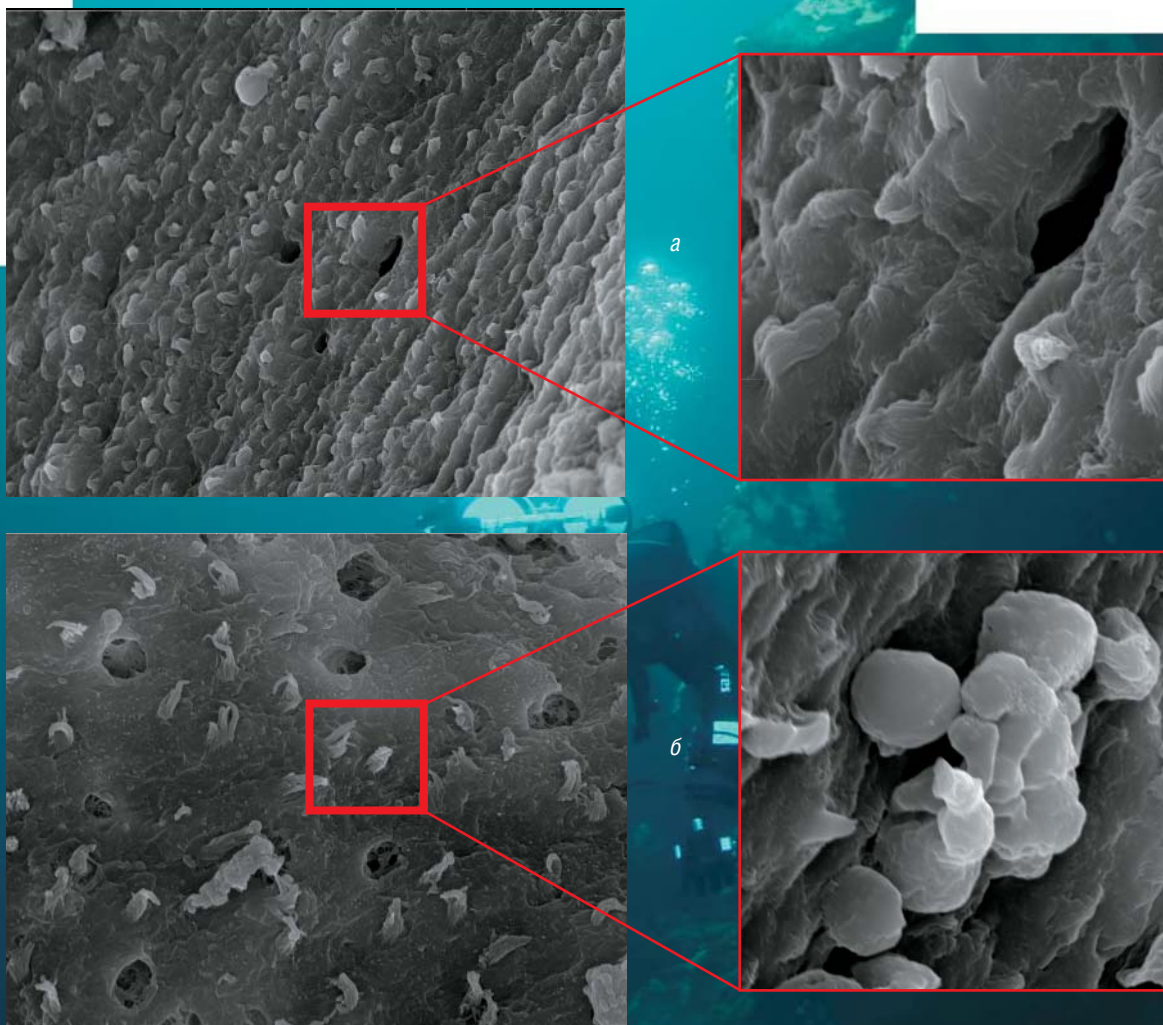
Шумные соседи

В последние годы все большее значение приобретает проблема антропогенного акустического воздействия на обитателей водной среды. Постоянный гул стал настолько привычным в жизни человека, что мы перестали его ощущать, но это не относится к рыбам и другим водным организмам, для которых акустическое общение является жизненной необходимостью.

В морях и океанах техногенное акустическое воздействие на гидробионтов связано, в частности, с интенсивным использованием водных мотоциклов, судоходством, строительством (забивка свай), сейсморазведкой при добыче нефти и газа, работой ветроэлектростанций и т. п. Такого рода шум мешает водным организмам формировать адекватное представление об окружающей среде и даже может привести к их гибели (McCauley *et al.*, 2003; Wysocki *et al.*, 2007; Halvorsen *et al.*, 2012; Casper *et al.*, 2013; Бибиков и др., 2014).

Аквакультура также предполагает интенсивное использование такого «шумного» оборудования, как аэраторы, воздушные и водяные насосы, системы фильтрации и т. п., которые ухудшают акустические условия в резервуарах, где содержатся рыбы. Постоянное воздействие интенсивных уровней шума может

Высокая экспериментальная шумовая нагрузка приводит у байкальских сиговых рыб к разрывам слухового эпителия, равным размеру волосковой клетки (а), а также к патологическим изменениям (вакуолизации) самих клеток (б)



отрицательно повлиять на культивируемые виды. Одни из последствий такого воздействия – повышение стресса и снижение темпов роста. А при искусственном воспроизводстве рыб снижение акустической чувствительности мальков будет негативно отражаться в будущем на их выживаемости в естественной среде (Montgomery *et al.*, 2006).

Озеро Байкал является идеальным полигоном для изучения моделей распространения звука и оценки воздействия шума на водных обитателей (Glotin *et al.*, 2017; Sapozhnikova *et al.*, 2017). Новые данные о морфологии слухового эпителия байкальских рыб позволяют нам оценить физиологические аспекты их поведения в разных зонах озера Байкал, отличающихся акустическими условиями.

Группа сенсорной биологии рыб Лимнологического института СО РАН (Иркутск) в настоящее время активно занимается изучением влияния низкочастотного и высокочастотного звука на слух байкальских рыб, анализируя способность волосковых клеток к восстановлению после интенсивной звуковой стимуляции. Оказалось, что в зависимости от интенсивности звук может вызвать у сиговых рыб механическое повреждение волосковых клеток, временную или постоянную потерю слуха и поведенческие нарушения.

Актуальность изучения эффектов долгосрочного воздействия шума на слух и акустическое поведение байкальских рыб связана, в частности, с необходимостью получения устойчивых к стрессу и потенциально перспективных для аквакультуры форм сиговых рыб. Это вызвано как уменьшением численности их популяций в природе, так и введением в 2017 г. запрета на вылов основного промыслового вида сиговых рыб – байкальского омуля. Есть надежда, что результаты акустических исследований байкальских рыб в итоге будут использованы для смягчения антропогенного воздействия на них в естественной среде, а создание благоприятных условий для подраживания рыбьей молодежи поможет восполнить популяции исчезающих видов.

Под напором научных знаний современный человек постепенно теряет мистическую веру в «священность» одного из самых прекрасных уголков мира – озера Байкал, что вполне закономерно. Но это не означает, что теперь мы не должны бережно относиться к чистоте великого озера и уникальным представителям его животного мира, более половины из которых нигде в мире не встречаются. Разгадывая тайны Байкала, мы должны научиться разумно интерпретировать научные факты, не забывая, что природа также говорит с нами, пусть и на особом языке. И всегда ли мы способны ее услышать?

Литература

- Бибиков Н. Г., Сухорученко М. Н., Римская-Корсакова Л. К. Влияние антропогенных звуков на биоту арктических морей // Доклады XXVII сессии Российского акустического общества. СПб., 2014. С. 1–13.
- Касумян А. О. Структура и функция слуховой системы рыб. М.: Изд-во МГУ, 2005. 110 с.
- Кузнецов Ю. А., Кузнецов М. Ю. Обоснование и разработка методов и средств промысловой биоакустики: Монография. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2007. 339 с.
- Лычаков Д. В. Исследование отолитов рыб в связи с вестибулярной и слуховой функциями // Сенсорные системы. 1994. Т. 8. № 3/4. С. 7–15.
- Сапожникова Ю. П., Клименков И. В., Мельник Н. Г. Особенности морфологической поляризации сенсорных элементов слухового саккулярного эпителия у байкальских рогатковидных рыб (*Cottoidei*) // Сенсорные системы. 2007. Т. 21. № 2. С. 140–146.
- Сапожникова Ю. П., Клименков И. В., Ханаев И. В. Особенности формирования отолитов у некоторых рогатковидных рыб разных экологических групп озера Байкал // Сенсорные системы. 2010. Т. 24. № 1. С. 73–86.
- Glotin H., Poupard M., Marxer R. *et al.* Big data passive acoustic for Baikal lake Soundscape & Ecosystem Observatory [B2O] // Toulon: DYNI CNRS LSIS team. 2017. P. 1–25.
- Montgomery J. C., Jeffs A. G., Simpson S. D. *et al.* Sound as an Orientation Cue for the Pelagic Larvae of Reef Fishes and Decapod Crustaceans // Adv. Mar. Biol. 2006. V. 51. P. 143–196.
- Popper A. N., Ramcharitar J., Campana S. E. Why Otoliths? Insights from Inner Ear Physiology and Fisheries Biology // Mar. Freshwater Res. 2005. N. 56. P. 497–504.
- Sapozhnikova Yu. P., Klimenkov I. V., Khanaev I. V. *et al.* Ultrastructure of saccular epithelium sensory cells of four sculpin fish species (*Cottoidei*) of Lake Baikal in relation to their way of life // J. of Ichthyology. 2016. V. 56. N. 2. P. 289–297.
- Sapozhnikova Yu. P., Belous A. A., Makarov M. M. *et al.* Ultrastructural correlates of acoustic sensitivity in Baikal coregonid fishes // Fundam. Appl. Limnol. 2017. V. 189. N. 3. P. 267–278.

Работа поддержана проектом РФФИ и Правительства Иркутской области, (проект № 17-44-388081 p_a), а также проектом Правительства Иркутской области «Получение высокотехнологичной аквакультуры сиговых рыб...» (Форум «Байкал»). Исследования воздействия интенсивного звука на рыб проведены в рамках бюджетной темы 0345-2016-0002 («Молекулярная экология и эволюция живых систем...»)

Ультраструктурные фотографии сенсорного эпителия получены на базе Объединенного центра ультрамикрoанализа ЛИН СО РАН (Иркутск)



«Тихая» ночь на Байкале. Фото С. Дидоренко



„Ядерная“

Ключевые слова: ядерная медицина, позитронная эмиссионная томография, однофотонная эмиссионная компьютерная томография.

Key words: nuclear medicine, positron emission tomography, single photon emission computed tomography

ДИАГНОСТИКА: увидеть невидимое

Слово «ядерная» в приложении к чему-либо обычного человека всегда настораживает. И диагностическая ядерная медицина в этом смысле не исключение. Автор этой статьи, не медик, но научный сотрудник с физическим образованием, следит за развитием этой активно развивающейся области современного здравоохранения в силу своих научных интересов, связанных с математическим моделированием. Одна из главных целей этой публикации не просто познакомить широкого читателя с самыми передовыми диагностическими технологиями, но и обосновать необходимость создания в России мультидисциплинарного исследовательского центра ядерной медицины, которого в нашей стране пока нет

Ядерная медицина – так называют раздел клинической медицины, который использует в диагностике и лечении радиоактивные фармацевтические препараты. Современными методами диагностики в ядерной медицине являются позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОЭКТ). Сегодня их широко используют в онкологии, кардиологии и неврологии. В последнее десятилетие особое внимание в мировой клинической практике уделялось методу ПЭТ, который на сегодня признан «золотым стандартом» в диагностике раковых заболеваний.

За последние годы и в России построено более десятка ПЭТ-центров, в первую очередь в Москве

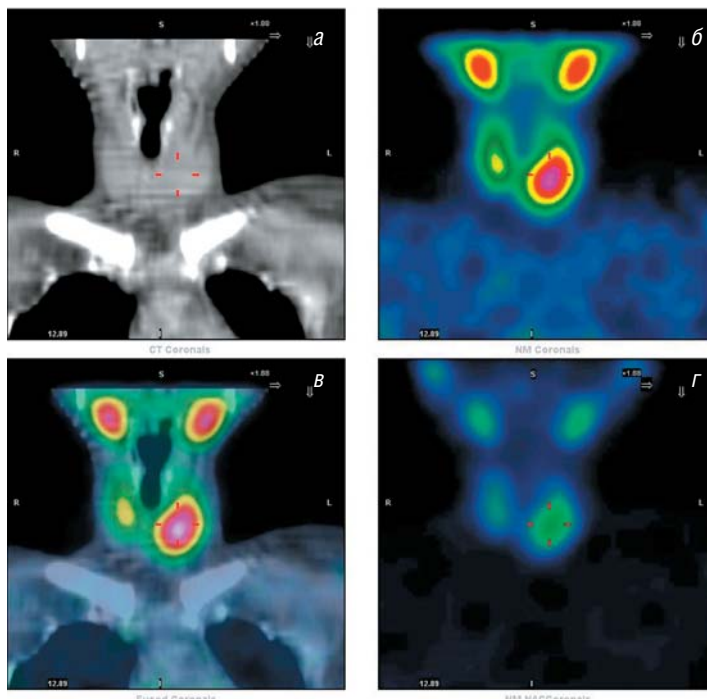
Эти изображения демонстрируют результаты диагностики аденомы паращитовидных желез – небольших эндокринных органов, расположенных на задней поверхности щитовидной железы. На КТ-изображениях можно увидеть лишь морфологическую структуру желез (а). На ОЭКТ-изображениях хорошо видно аномальное накопление радиофармпрепарата в нижней левой железе, что позволяет диагностировать заболевание (б, в), а совмещенные ОЭКТ/КТ-изображения помогают локализовать область поражения анатомически (г).

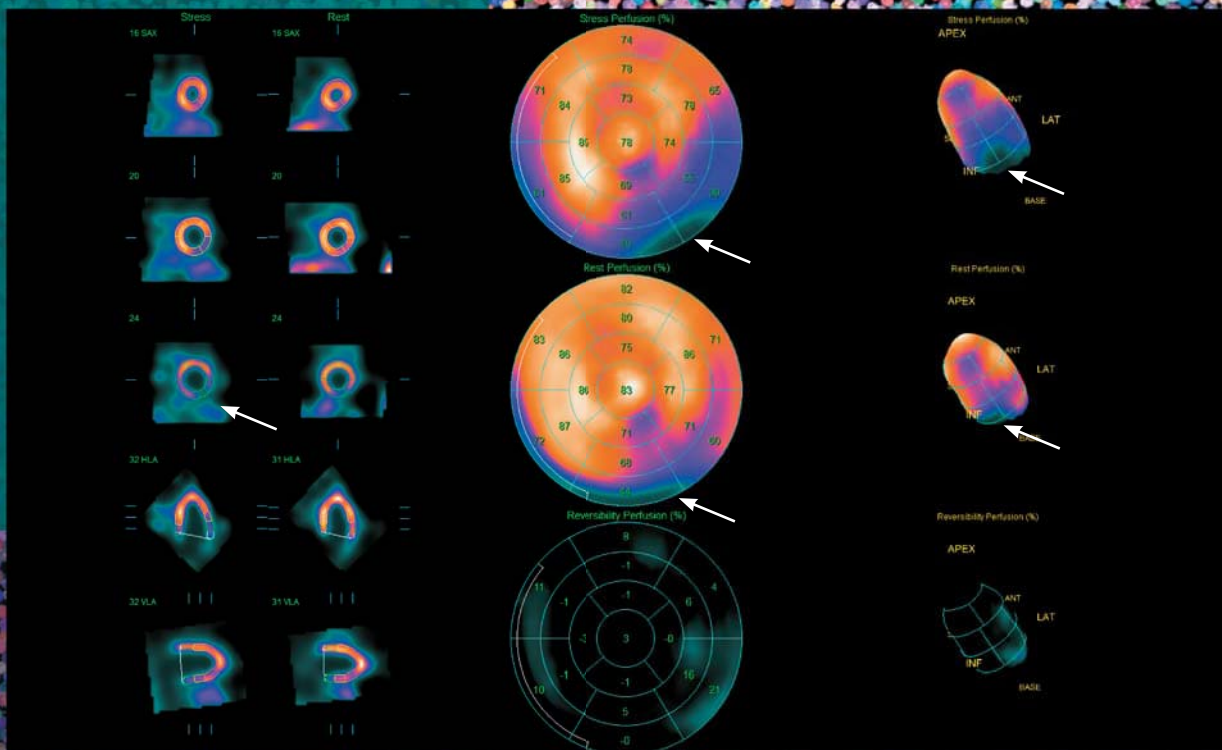
Изображения предоставлены отделением радиоизотопной диагностики НМИЦ им. акад. Мешалкина (Новосибирск)

© Н. В. Денисова, 2018



ДЕНИСОВА Наталья Васильевна – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физики быстропротекающих процессов Института теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), профессор кафедры лазерных систем Новосибирского государственного технического университета. Автор и соавтор более 90 научных работ





Результаты исследования перфузии (кровоснабжения) левого желудочка миокарда методом ОЭКТ, показывающие распределение радиофармпрепарата. Светлые области соответствуют нормальной перфузии, темные участки указывают на ишемическое поражение. В первых двух столбцах показаны сечения желудочка по короткой оси на фоне нагрузочного теста и в покое. В третьем столбце желудочек представлен в системе полярных координат типа «бычий» глаз, удобной для количественной оценки степени поражения. В четвертом столбце показано 3D-изображение желудочка. Стрелками указаны области ишемического поражения. Изображения предоставлены отделением радиоизотопной диагностики НМИЦ им. акад. Мешалкина (Новосибирск)

и Санкт-Петербурге. Федеральная сеть центров ядерной медицины расширяется, охватывая различные регионы страны: уже построены ПЭТ-центры в Уфе, Хабаровске, Челябинске, Красноярске, Ханты-Мансийске, Казани, Екатеринбурге, Белгороде, Тольятти.

В мае 2018 г. на Петербургском международном экономическом форуме было подписано соглашение о стратегическом партнерстве Новосибирской области и ООО «Лечебно-диагностический центр Международного института биологических систем имени Сергея Березина» по созданию центра ядерной медицины в Новосибирске. Стоимость проекта составит более 1 млрд рублей, а сам центр планируется ввести в эксплуатацию в ближайшие годы.

В связи с этим возникает ряд вопросов, которые интересны не только специалистам, но и широкой общественности. Например, какую информацию несут изображения, полученные с помощью диагностических методов ядерной медицины? В чем состоит

их преимущество при онкологических заболеваниях? Какова лучевая нагрузка на пациента при обследованиях методами ПЭТ и ОЭКТ? Сколько стоит такое обследование, и кто будет за него платить?

От морфологии – к физиологии

К стандартным и широко известным методам диагностики сегодня можно отнести рентгеновскую компьютерную томографию (КТ) и магнитно-резонансную томографию (МРТ), каждый из этих методов имеет свою нишу приложения.

С помощью КТ регистрируют степень поглощения рентгеновского излучения биологическими тканями, которая зависит от плотности среды. Эти изображения имеют высокую контрастность в случае соседства сред с существенно различающейся плотностью, например, «мягкие ткани–кости», из-за чего КТ наиболее широко

используется для диагностики травм и болезней костей и оценки состояния легких. А с использованием контрастных веществ КТ применяют и для исследования кровеносных сосудов, в том числе для выявления инсульта.

Метод МРТ основан на явлении *ядерного магнитного резонанса*. С его помощью получают изображение пространственного распределения *протонов* (ядер атомов водорода, входящих в состав молекулы H_2O), которое наиболее контрастно для мягких тканей с различным содержанием воды. МРТ используют для исследования головного и спинного мозга, диагностики опухолей, заболеваний нервной системы.

И КТ, и МРТ позволяют получать высококачественные «анатомические изображения» с высокой (менее 1 мм) степенью разрешения. Однако при онкологических заболеваниях необходимо различать нормальные и аномальные структуры в пределах одного и того же органа, и в таких случаях этим методам часто недостает чувствительности, особенно на ранних стадиях болезни.

Усилить чувствительность методов КТ и МРТ можно с помощью контрастных веществ. Большинство опухолей, особенно злокачественных, имеют лучшее кровоснабжение, чем здоровые ткани, и контрастное вещество будет накапливаться в них в большей концентрации. Однако эти отличия не всегда настолько значимы, чтобы на основе визуальных оценок можно было поставить диагноз.

Оба этих метода дают изображения, основанные преимущественно на морфологических различиях тканей. Принципиальное отличие диагностических методов ядерной медицины состоит в том, что они позволяют визуализировать *метаболические процессы* (химические реакции, необходимые для поддержания жизни), протекающие в организме на клеточном уровне.

Метим опухоль

Диагностические методы ядерной медицины, и ПЭТ и ОЭКТ, используют *радиофармпрепараты*, состоящие из рабочего вещества с присоединенной к нему радиоактивной «меткой». Рабочее вещество – это специально

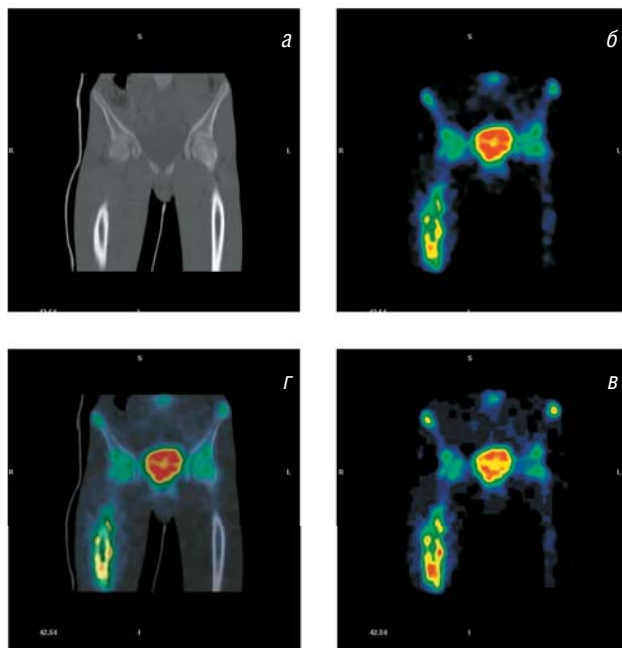
Метод ОЭКТ используется для диагностики заболеваний костной системы человека, в том числе остеосаркомы – наиболее распространенного типа рака кости. *Справа* – КТ-изображение (а), ОЭКТ-изображения (б, в) и совмещенное ОЭКТ/КТ-изображение (г), которое дает наиболее детальное представление о степени поражения правой бедренной кости пациента.

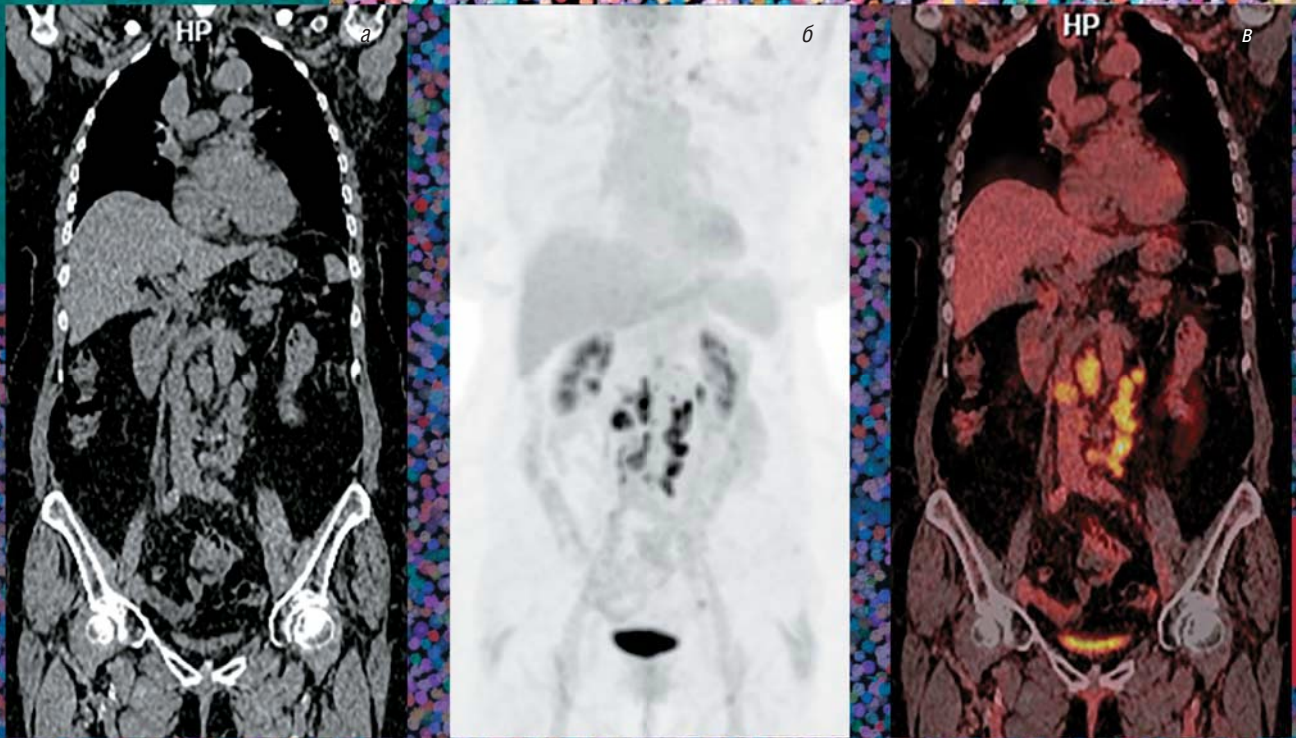
Изображения предоставлены отделением радиоизотопной диагностики НМИЦ им. акад. Мешалкина (Новосибирск)

ВЗВЕШЕННЫЙ РИСК

С ростом числа «лучевых» медицинских процедур в научной литературе начал активно обсуждаться вопрос о допустимых дозах поглощенного излучения. Лучевую нагрузку на пациента оказывают все современные томографические методы, кроме МРТ. И сегодня врачи при направлении больных на подобные обследования руководствуются двумя принципами: обоснование и оптимизация, – соотнося риски с возможностью получения жизненно важной информации. Проблема лучевого риска особенно значима в педиатрии, а также для пациентов детородного возраста. С увеличением возраста пациентов вероятность неблагоприятных последствий быстро снижается.

Напомним, что на всех нас действует природный радиационный фон, создаваемый космическим излучением и излучением природных радионуклидов, в основном радона. В мире средняя доза облучения за счет изотопов радона в помещениях составляет около 1,3 мЗв/год, в России – около 2,4 мЗв/год. Доза облучения при КТ составляет от 1 до 10 мЗв в зависимости от вида обследованных органов, а при КТ-ангиографии – 15 мЗв. Лучевая нагрузка при радионуклидных методах примерно сопоставима: 6 мЗв при исследовании перфузии миокарда методом ОЭКТ с использованием препарата $Tc99m$ -МИБИ, 3,7—13,9 мЗв при ПЭТ всего тела с использованием препарата ФДГ. При этом по ценности получаемой информации эти методы несравнимы ни с какими другими





Диагностика множественного метастатического поражения забрюшинных лимфатических узлов: КТ-изображение (а); ПЭТ-изображение (б); совмещенное ПЭТ/КТ-изображение, на котором хорошо видны яркие зоны, маркирующие патологические очаги (в). Изображения предоставлены отделением ПЭТ НИИ клинической и экспериментальной радиологии НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина (Москва)

подобранный молекулярный соединитель, которое участвует в естественных метаболических процессах в организме человека.

Например, в кардиологии для оценки кровоснабжения миокарда методом ОЭКТ широко применяется препарат Tc^{99m} -МИБИ на основе *метокси-изобутил-изонитрила*, который захватывается здоровыми клетками миокарда. Метка накапливается в областях с ненарушенным кровоснабжением, и только в неповрежденных клетках, что позволяет диагностировать патологии кровоснабжения миокарда и выявлять области некротического повреждения.

В онкологии метод ОЭКТ в последние годы уступает свои позиции ПЭТ. В этой области медицины практически все ПЭТ-обследования проводят с помощью препарата *фтордезоксиглюкоза*, по составу близкому к обыкновенной глюкозе и меченому изотопом фтора ^{18}F . Глюкоза – универсальный источник энергии, поэтому раковые клетки, отличающиеся усиленным метаболизмом, накапливают этот препарат в более высоких концентрациях, чем здоровые. И на ПЭТ-изображениях очаги поражения видны в виде ярких пятен.

В 2012 г. в широко известном медицинском журнале *The New England Journal of Medicine* вышла статья «Бремя болезней и меняющиеся задачи медицины», где была приведена таблица причин смертности населения г. Бостон за период с 1812 по 2012 гг. В начале XIX в. довольно частой была «смерть от разрыва пушечного ядра», столетие спустя основными причинами смерти были пневмония, грипп, туберкулез и желудочно-кишечные инфекции. В 2010 г. доминирующими причинами смерти стали сердечно-сосудистые заболевания и рак. Примерно такая же динамика наблюдается во всем мире и в России. Ученые предсказывают, что в ближайшие годы онкологические заболевания выйдут в абсолютные лидеры благодаря достигнутому прогрессу в диагностике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний и выявлении основных причин этих патологий.

Сейчас Минздрав России работает над новой национальной онкологической программой, рассчитанной до 2030 г. Ожидается, что большая роль в этой программе будет отведена развитию современных методов диагностической и терапевтической ядерной медицины, созданию ПЭТ-центров на территории России

В ОЭКТ и ПЭТ используются разные радионуклиды-метки. В первом случае это радиоактивные вещества, которые при распаде испускают *гамма-кванты*. Радионуклиды, используемые при ПЭТ-диагностике, испускают *позитроны* – античастицы электронов. В биологических тканях присутствует много свободных электронов, поэтому позитрон встречается с электроном, пройдя расстояние менее 1–2 мм. Частицы аннигилируют, выделяя энергию в виде двух гамма-квантов, вылетающих в противоположных направлениях, которые и регистрируются детекторами. Поток гамма-квантов при ПЭТ существенно выше, что и обеспечивает более высокое качество получаемых изображений.

В чем преимущества метода ПЭТ в сравнении с другими видами томографии для диагностики рака? Во-первых, он позволяет не только дифференцировать доброкачественные и злокачественные образования, но и обнаруживать опухоль на самой ранней стадии развития, когда шансов на успех излечения существенно больше. Во-вторых, это единственный метод, с помощью которого можно просканировать все тело после обнаружения первичной опухоли, чтобы диагностировать наличие или отсутствие метастазов, что чрезвычайно важно для определения тактики лечения. Наконец, только ПЭТ дает самую раннюю оценку эффективности проводимого лечения, а также позволяет отличить рецидив от морфологических повреждений ткани после хирургических и лучевых процедур.

ПЭТ-исследования используют и для контроля опухолевого процесса уже после курса терапии. Например, при изначально гормонопозитивном раке молочной железы опухоль иногда прогрессирует после окончания стандартной 5-летней гормонотерапии. Но в рутинной клинической практике онкологи часто пренебрегают возможностью повторного установления диагноза, особенно при внутригрудной и внутрибрюшинной локализации метастазов. Это непростое сделать даже с помощью ПЭТ-диагностики из-за низкой метаболической активности очагов вследствие небольших размеров. Однако эти ограничения можно преодолеть за счет использования нового препарата – *¹⁸F-фторэтилтирозина*, который еще только входит в практику передовых клиник.

Нужно отметить, что «молекулярные изображения», полученные с помощью диагностических методов ядерной медицины, не обладают той высокой четкостью, которая присуща анатомическим изображениям КТ и МРТ. В самом начале своего развития этот раздел получил даже шутовское название *unclear medicine* вместо *nuclear medicine*. Чтобы привязать очаги поражения к анатомическому строению, в современной диагностической ядерной медицине используют гибридные ПЭТ/КТ- и ПЭТ/МРТ-системы, при которых изображения, полученные разными методами, накладываются друг на друга.

Решают кадры

«Проблема России не в томографах, проблема России – в мозгах, в катастрофическом недостатке специалистов и исследований в этой области». Эта цитата из приветственного доклада хирурга-онколога академика М. И. Давыдова на конференции по медицинской физике в 2010 г. остается актуальной и донныне.

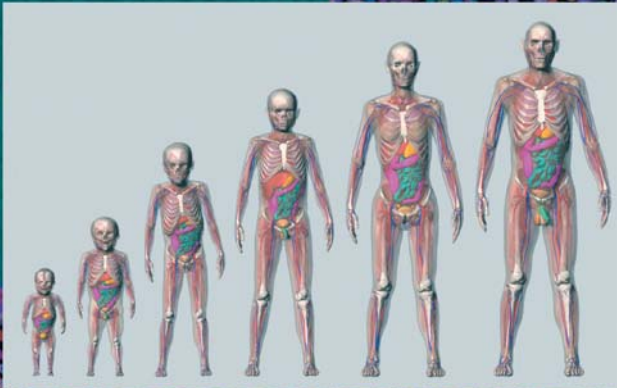
В Европе, США, Японии и Китае быстрое развитие ядерной медицины в последние годы привело к росту числа исследований в этой области, увеличению численности и повышению уровня подготовки специалистов. Текущую ситуацию в России можно оценить как критическую. Чтобы решить проблему подготовки кадров для рутинной и исследовательской работы в области ядерной медицины, нужно вводить соответствующие курсы на действующих кафедрах медицинских вузов, а также готовить немедицинских специалистов: радиохимиков, медицинских физиков, математиков, биологов.

Назрела необходимость быстро решать вопрос образовательной подготовки специалистов для ядерной медицины, так как было бы стратегической ошибкой закупать дорогостоящее высокотехнологичное оборудование и при этом не иметь грамотных специалистов, которые могут на нем работать.

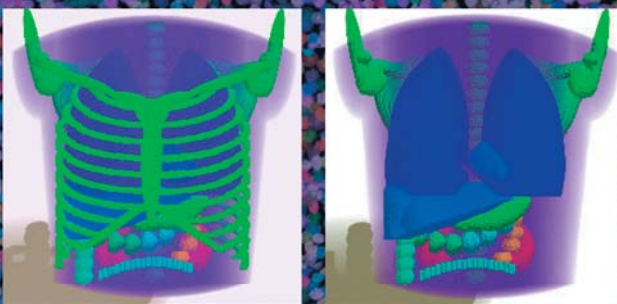
С учетом все возрастающей сложности медицинских технологий визуализации задача интерпретации полученных изображений становится все более трудной для врачей. К решению этой проблемы сегодня подключаются исследователи в области «больших данных» и искусственного интеллекта, специалисты в области решения обратных некорректных задач, создатели новых радиофармацевтических препаратов. Такой подход требует создания сильных исследовательских групп, объединяющих врачей, инженеров, физиков, химиков, биологов, математиков.

Будущее ядерной медицины определяется, прежде всего, мультидисциплинарными фундаментальными исследованиями, направленными на разработку более эффективных радиофармпрепаратов, обеспечение радиационной безопасности и создание новых аппаратных средств регистрации гамма-излучения, а также на совершенствование математических методов обработки полученной информации. Кстати сказать, в мире фундаментальные исследования в этой области ведутся сегодня настолько интенсивно и широко, что основной «Европейский журнал по ядерной медицине и молекулярной визуализации» (*EJNMMI*) даже разделился на несколько дисциплинарных журналов.

Ниже мы коснемся только одного из направлений, близкого автору по роду его научной деятельности, которое связано с применением математического моделирования и компьютерных имитаций в области



Разработанная в Новосибирске 3D-математическая модель, описывающая распределение радиофармпрепарата в органах грудной клетки среднестатистического пациента при ПЭТ-обследовании. Кости грудины и грудной клетки учитываются при моделировании, так как они могут ослаблять гамма-излучение при его прохождении в организме



3D-математический фантом для компьютерной имитации процедуры обследования пациентов методом ПЭТ: полный и отдельно костная система (скелет)

Математические фантомы, разработанные с использованием методов компьютерной графики в Университете Дюка и в Университете Джона Хопкинса (США). По: (Denisova, 2018)

диагностической ядерной медицины. Необходимость такого подхода диктуется невозможностью из-за лучевой нагрузки проводить исследования на людях, тогда как эксперименты на мелких животных не могут решить проблем, возникающих при диагностике человека.

Матмоделирование в помощь

Томографические исследования в новосибирском Институте теоретической и прикладной механики (ИТПМ) СО РАН были инициированы д. ф. – м. н. Н. Г. Преображенским еще в 1980-е гг. с целью использовать их для диагностики газа и плазмы. В начале 2000-х гг. специалисты института совместно с врачами НМИЦ им. академика Е. Н. Мешалкина (Новосибирск) начали применять математическое моделирование для компьютерной имитации процедуры обследования кардиологических больных методом ОЭКТ. Сейчас эти исследования продолжаются в сотрудничестве с Институтом вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, а также Национальным медицинским исследовательским центром кардиологии (Москва), Венским медицинским университетом и отделением ядерной медицины Центральной клинической больницы Вены (Австрия) при поддержке РФФИ и Австрийского научного фонда.

Математическое моделирование процедуры ОЭКТ и ПЭТ – это сложная физико-математическая проблема, состоящая из ряда задач: создания математических моделей (*фантомов*), описывающих распределение радиофармпрепарата в органах пациента; моделирования процесса формирования «сырых» проекционных данных, регистрируемых детекторами; разработки метода решения обратной задачи реконструкции изображений из «сырых» данных. Фактически при компьютерном моделировании математический фантом служит виртуальным «пациентом», а реальная томографическая установка заменяется виртуальной системой.

Эти исследования позволяют выявить причины возникновения на изображениях «ложных дефектов», приводящих к неправильному диагнозу, а также оценить предельные размеры патологических очагов, которые можно визуализировать в зависимости

При онкологических заболеваниях пациентам часто необходимо неоднократно проводить ПЭТ-сканирование, чтобы выявить метастазы, оценить эффективность терапии и контролировать возможный рецидив опухолевого процесса. Его стоимость зависит от вида используемого препарата и органов тела, которые будут обследованы. «Мировая» стоимость одного обследования всего тела составляет около 1 тыс. долларов. Попастъ на такую диагностику можно по направлению из онкодиспансера. В этом случае для жителей регионов, где уже имеются центры федеральной сети, обследование будет проведено за счет ОМС. Судя по сообщениям в СМИ, половина обследований в будущем Центре ядерной медицины в Новосибирске будет покрываться за счет ОМС

от их локализации и индивидуальных особенностей анатомического строения пациента. С помощью этого подхода можно также тестировать новые алгоритмы реконструкции изображений и выполнять исследования по оптимизации протокола сбора данных.

В России подобная работа пока ведется только в ИТПМ СО РАН. Несколько лет тому назад совместно с отделением томографии НМИЦ им. ак. Е. Н. Мешалкина был разработан первый отечественный 3D-математический фантом для исследований в области диагностической ядерной кардиологии. Этот фантом описывает распределение препарата Tc99m-МИБИ в органах грудной клетки среднестатистического пациента мужского пола при исследовании перфузии (кровоснабжения) миокарда методом ОЭКТ. Рассчитанные для него проекционные данные хорошо согласуются с данными реальных клинических обследований. Фантом использовался в различных исследованиях, в том числе по снижению дозы радиофармпрепарата с целью уменьшения лучевой нагрузки на пациента.

Существует два подхода к развитию фантомов: на основе методов компьютерной графики и на основе простых фигур, описываемых уравнениями пространственной геометрии, который использовали мы. Так как с самого начала хотели построить фантомы, которые можно было бы легко трансформировать, меняя размеры и положение органов, чтобы исследовать влияние анатомического строения пациентов на качество изображений.

Например, в течение более 20 лет оставалась непонятой причина появления «ложных дефектов» на изображениях в верхушечной зоне миокарда при исследовании его перфузии. Эти артефакты имитируют или маскируют поражения миокарда, что затрудняет интерпретацию изображений и вынуждает назначать дополнительные дорогостоящие обследования.

По результатам исследований на основе численных методов с использованием нашего фантома были предложены рекомендации по внесению изменений в протокол обследований пациентов.

Сегодня в процессе создания находится фантом для компьютерной имитации процедуры обследования «всего тела» методом ПЭТ.

Ядерная медицина с самого начала создавалась исследовательскими коллективами, где «плечо к плечу» работали врачи, физики, химики, математики и биологи, и сегодня она продолжает активно развиваться как мультидисциплинарное направление.

У Новосибирска имеется огромный научный потенциал в области диагностической, терапевтической и интервенционной ядерной медицины: перспективные разработки и хорошие заделы по разным направлениям наряду с большим опытом сотрудничества есть и в институтах СО РАН, и в медицинских учреждениях. Достаточно упомянуть лишь о методе бор-нейтронозахватной терапии рака, который успешно развивается в Институте ядерной физики СО РАН совместно с другими научными и медицинскими организациями. Создание в Новосибирске мультидисциплинарного исследовательского центра ядерной медицины даст крепкую основу для развития фундаментальных и прикладных исследований в этой области.

Литература

Беляев В. Н., Климанов В. А. *Физика ядерной медицины*. М.: НИЯУ МИФИ, 2012, Ч. 2, 248 с.

Климанов В. А. *Физика ядерной медицины*. М.: НИЯУ МИФИ, 2012, Ч. 1, 308 с.

Колядина И. В., Абдуллаев А. Г., Танишина Н. Б. и др. *Мультимодальный подход к дифференциальной диагностике метастатического поражения при раке молочной железы: описание клинического случая // Злокачественные опухоли*. 2017. Т. 7. № 3. С. 31–36.

Denisova N. V., Terekhov I. N. *A study of myocardial perfusion SPECT imaging with reduced radiation dose using maximum likelihood and entropy-based maximum a posteriori approaches // Biomed. Phys. Eng. Express*. 2016. V. 2. N. 5. P. 055015 (12).

Denisova N. V., Anshelev A. A. *A study of false apical defects in myocardial perfusion imaging with SPECT/CT // Biomed. Phys. Eng. Express*. 2018. V. 4. N. 6. P. 065018 (12).

Jones D. S., Podolsky S. H., Greene J. A. et al. *The Burden of Disease and the Changing Task of Medicine // N Engl. J. Med*. 2012. V. 366. P. 2333–2338.

Кашмирский Дневник



Кашмирская долина расположена между Большими Гималаями и хребтами Пир-Панджал на высоте 1600 м. Ее длина – около 200 км, ширина – свыше 60 км. Около 60 млн лет назад на этом месте располагалось озеро, которое подпитывалось тающими ледниками и горными реками. Столица штата г. Шринагар был основан в III веке до н. э.

Ключевые слова: археология, Алтай, Кашмирская долина, кушанское время, древние миграции, керамика.
Key words: archaeology, Altai, Kashmir valley, Kushan period, ancient migration routes, ceramics



Одно открытие – это только начало пути. Прошло уже двадцать лет с тех пор, как не по нашей воле были прекращены исследования пазырыкской культуры на плато Укок в Горном Алтае, и четыре года, как мы работаем в Индии. Человека далекого от археологии может удивить такой разброс географии наших работ: что может быть общего между кочевниками, жившими на Алтае, и древними цивилизациями Индии?

Двадцать с лишним лет назад на Алтае нам удалось только потянуть за ниточку клубок вопросов, возникших в результате наших счастливых находок. Теперь уже не остается сомнений, что особенности пазырыкской культуры указывают на ее связь с древними цивилизациями Ближнего Востока. Желание найти следы этой связи и привело нас в Кашмир



ПОЛОСЬМАК Наталья Викторовна – член-корреспондент РАН, доктор исторических наук, главный научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск). Лауреат Государственной премии РФ (2004), лауреат Национальной премии «Достояние поколений» (2006). Автор и соавтор более 300 научных работ

© Н. В. Полосьмак, 2018

Что такое Великий шелковый путь, знают все – это название сегодня популярно, как никогда. Но «первой в истории цивилизации трансконтинентальной трассой, соединявшей восток и запад – Средиземноморье, Южный Кавказ, Среднюю Азию, Индию и Китай», была, как доказывает Э. Ртвеладзе (2012, с. 10), система дорог, названная им Великий индийский путь, который начал функционировать в III–II вв. до н. э. Как видно из названия, исходным пунктом торговых путей, как на запад, так и на восток, была Индия, откуда и осуществлялся торговый и культурный обмен. Возможно где-то на этих дорогах начиналась история так называемой «пазырыкской культуры» – в результате миграции населения, вызванной неизвестными причинами. Часть этого населения достигла «убежища», каким послужили долины Горного и Монгольского Алтая

«Даже путь в тысячу ли начинается с первого шага».

«Дао-Дэ цзин», Лао-Цзы

В ходе многолетних междисциплинарных исследований «замерзших» непо потревоженных погребений *пазырыкской культуры* на Укоке были получены важные результаты, которые до сих пор не находят однозначного объяснения. Например, восстановив костюм пазырыкцев и предметы конского убранства, мы убедились, что в этой культуре ведущая роль отводилась текстилю, а не коже, замше или меху, что было бы более логичным, если вспомнить о местах обитания пазырыкцев – горных и высокогорных долинах Алтая (Полосьмак, Баркова, 2005). Еще больший сюрприз принесло изучение красителей текстиля из пазырыкских могил. Оказалось, что для окрашивания шерстяных тканей и войлоков использовались лучшие в мире красящие вещества растительного и животного происхождения, но нехарактерные для этого региона: *красильные червецы* и растения *марена красильная* и *вайда красильная*.



Пазырыкский текстиль говорит нам о высокоразвитой культуре крашения природными органическими красителями, комплекс которых однозначно относится к Средиземноморскому региону (Полосьмак, Кундо, Балакина и др., 2006). Кроме того, коллекция пазырыкского текстиля содержит две рубахи из Второго Пазырыкского кургана (раскопки С. И. Руденко), сделанные из хлопка, окрашенного *мареной индийской*. Такое сочетание вида ткани и красителя указывает на индийское происхождение этих изделий. Рубаха аналогичного фасона, сшитая из дикого индийского шелка, была обнаружена на теле женщины, похороненной в кургане 1 могильника Ак-Алаха 3. В пазырыкских курганах были найдены также индийское бронзовое «музыкальное» зеркало, раковины-каури, орнамент в виде стилизованных цветов и бутонов лотоса.

Многие характерные черты пазырыкской культуры указывают на ее связь с Ахеменидской империей, объединившей в VI–IV вв. огромные территории, заселенные многочисленными народами. В 519–518 гг. в состав империи была включена и часть северо-западной Индии. Истоки яркой культуры, которую мы изучали

на Алтае, не могут рассматриваться вне связи с этой древней цивилизацией, особенно если учитывать последние данные палеогенетических исследований (Пилипенко, Молодин, Ромащенко, 2012).

Если пазырыкцы являлись одной из групп кочевых племен *юэчжи* (а эта точка зрения разделяется многими учеными), то их дальнейшая судьба после того, как они в III в. до н.э. были вытеснены с Алтая, в той или иной степени была связана с этими племенами. Как известно, юэчжи создали Кушанскую империю – древнее государство на территории современной Средней Азии, Афганистана, Пакистана и Северной Индии, существовавшее в период с конца II в. до н.э. – IV в. н.э. В период расцвета империи (приблизительно в первой трети II в. при правлении Канишки I) ее столица располагалась на территории северо-западной Индии, на месте современного Пешавара. Кушанские цари, отличавшиеся веротерпимостью, поддерживали индуизм, зороастризм и буддизм. Торговые, экономические и культурные связи между Индией и Центральной Азией достигли в кушанскую эпоху максимального развития. Пришедшие в Индию кочевники принесли



на стр. 110





Ашура, главная дата шиитского религиозного календаря, – время поминовения шиитских мучеников. Этот малыш еще не может принять участие в шествии мужчин, но он уже присутствует на главном событии года в жизни каждого шиита, уютно устроившись на руках матери. Как и все, он в черной одежде, специально сшитой для этого случая

ШРИНАГАР СТОИТ НА «НЕРВЕ КАШМИРА»

Летняя столица штата Джамму и Кашмир г. Шринагар был основан еще в III в. до н. э. В то время он входил в империю Мауриев, а в I в. весь регион стал частью Кушанской империи и центром распространения буддизма. Шринагар издавна был местом пересечения торговых путей из Китая, Тибета, Персии и Индии.

«Современному Шринагару не более 150—200 лет. От старого “города солнца” ничего не осталось. Старые мечети остались лишь в остовах. Старые мосты должны скоро рухнуть...», – писал Н. К. Рерих в 1925 г. На протяжении всей длинной истории города его неоднократно сотрясали землетрясения и наводнения. Так, по свидетельству очевидцев, землетрясение 1804 г., продолжавшееся семь дней и ночей, оставило город в руинах. С 1815 г. город был взят под контроль англичанами, которые застраивали его в соответствии с собственными вкусами и потребностями. После наводнения 1894 г. Шринагар был практически заново выстроен колониальными войсками.

Наводнение – частое бедствие этого древнего города, который буквально стоит на воде: остатки старого города располагаются по обоим берегам р. Джелум, которую тот же Рерих назвал «нервом Кашмира». Город пересекает множество каналов, а его главной достопримечательностью являются два озера – Дал и Нагин, на которых и проходит значительная часть жизни местных жителей. В сентябре 2014 г. из-за наводнения Шринагар наполовину ушел под воду, что привело к человеческим жертвам и огромным разрушениям. Даже по прошествии года следы затопления были хорошо видны на стенах гостиницы, в которой мы остановились





Шринагар
знаменит своими
каналами-улицами





К настоящему времени от старого Шринагара осталось немного. Среди этого немногого – могольские сады, которыми славится город, – настоящий рай на земле, созданный руками человека. Самый прекрасный сад над озером Дал – «Шалимар Багх» – устроил в 1616–1619 гг. император Джахангир для своей супруги Нур Джахан. В центре сада расположен пруд, посреди которого находится павильон из черного мрамора, окруженный фонтанами. Сад размещается на трех террасах: в древние времена на первую пускали простой люд, на вторую – только гостей императора, а на третьей террасе размещался гарем. И сегодня могольские сады Шринагара в любое время года – любимое место для жителей города





В Шринагаре сохранились старинные дома. Их рисует Саба Алтаф (вверху – автопортрет), одна из студенток, посещавшая наши занятия по археологическому рисунку. Она создает новые образы старого города. После получения степени бакалавра бизнес-администрирования художница снова поступила в университет, но уже на факультет изобразительного искусства: «Я рисую, когда хочу выразить свои чувства. Искусство помогает мне становиться лучше»





В 2015 г. в состав группы с российской стороны входили руководитель проекта Н. В. Полосьмак, научный сотрудник О. А. Позднякова, реставратор Л. П. Кундо и переводчик Е. Ю. Панкеева из Института археологии и этнографии СО РАН, а также научные сотрудники Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН П. Г. Дядьков и Л. В. Цибизов, инженер-геодезист Е. В. Кравченко и студент Г. Долговых. С индийской стороны руководство осуществлял старший преподаватель и куратор Центра исследований Центральной Азии Университета Кашмир д-р М. А. Шах, участвовали молодые ученые: специалист по древней архитектуре А. М. Уд Диниом и эксперт по монетам кушанского времени С. Капоте



с собой тактику конного боя, предметы конской упряжи и вооружения и оказали влияние на искусство Северной Индии, представленное гандхарской и матхурской школами (Литвинский, 1996).

Этот «пазырыкский след» и привел нас в Кашмир. Изучая культуру в местах ее автономного существования, как это было на Алтае, всегда задаешься вопросом: неужели весь этот мир с его неповторимым стилем, с его традициями и обрядами, с его историей исчез, растворился? Даже если это так, то хочется пройти их путь до конца, дойти до тех мест, где их присутствие еще заметно, где их роль еще значима, пусть и были они всего лишь небольшой группой племен в составе орды, вовлеченной в очередное переселение в новые земли. Эта страница истории еще не дочитана до конца...

Кашмирская экспедиция

Кашмирская долина, расположенная между Большими Гималаями и хребтами Пир-Панджал, – это наиболее освоенный район индийского штата Джамму и Кашмир. Здесь проживает более трети его населения и находится четверть посевных площадей и фруктовых садов.

Через кашмирский округ Бандипора проходил древний маршрут, соединявший Кашмир со знаменитым Великим шелковым путем и связывавший Юго-Восточную Азию и Китай со странами Средиземноморья. Весь этот регион очень перспективен для археологических изысканий, преследующих цель восстановить древние пути миграций населения Центральной Азии и северо-западной Индии. На территории Гилгита-Балтистана (Пакистан), граничащей с Бандипором, уже найдено много разнообразных памятников, свидетельствующих о центральноазиатских контактах местного населения в разные исторические эпохи.

Крупным форпостом на торговом пути, соединяющим Кашмир и Центральную Азию, мог быть Ахан, сегодня – археологический памятник, стоящий на древнем участке Шелкового пути. Расположен Ахан в 20 км к северо-западу от г. Шринагар, в окрестностях одноименной деревни. В полукилometре от него протекает р. Джелам, исток которой находится в Центральных Гималаях, а устье – на территории современного Пакистана. Река, судоходная и сейчас, в древности служила связующей артерией огромного региона, формируя вокруг себя культурное пространство. И сегодня Джелам, как и в древности, питает сеть крупных оросительных каналов.

Ахан был открыт в 1962 г. профессором Ф. М. Хаснайнном, директором Археологического управления Индии. В ходе разведочных раскопок на памятнике он обнаружил плиточное терракотовое покрытие, аналогичное которому имелись в материалах уже известных памятников Кашмирской долины, относящихся



Д-р Мохамад Аджмал Шах держит в руке фрагмент терракотовой плитки, найденной на территории памятника Ахан. Такие плитки являются характерной особенностью памятников кушанского времени Кашмира и настоящими произведениями искусства

В конце октября-начале ноября в Кашмирской долине уже холодно. При этом все местные жители одеты достаточно легко, их верхняя одежда сшита из плотной шерстяной ткани, но и только. Мы с удивлением обнаружили способ, который они использовали, чтобы согреться зимой. Для этого в специальную плетеную корзиночку с ручкой ставится глиняный горшочек с горячими углями. Эту корзиночку и мужчины, и женщины носят с собой под верхней одеждой, вытаскивая руки из рукавов. Сама одежда достаточно просторная, чтобы под ней где-то в области живота поместилась корзиночка с теплым горшочком, которую можно придерживать двумя руками





Все поля вокруг раскопов были засеяны, а вдоль границ полей проходили узкие и неглубокие каналы для воды. Ахан, 2017 г.



к кушанскому времени. На сегодняшний день в Кашмирской долине терракотовые плитки с изображениями людей, животных, растений и абстрактных рисунков были обнаружены на 11 археологических объектах.

После 1962 г. никаких археологических изысканий на Ахане не проводилось.

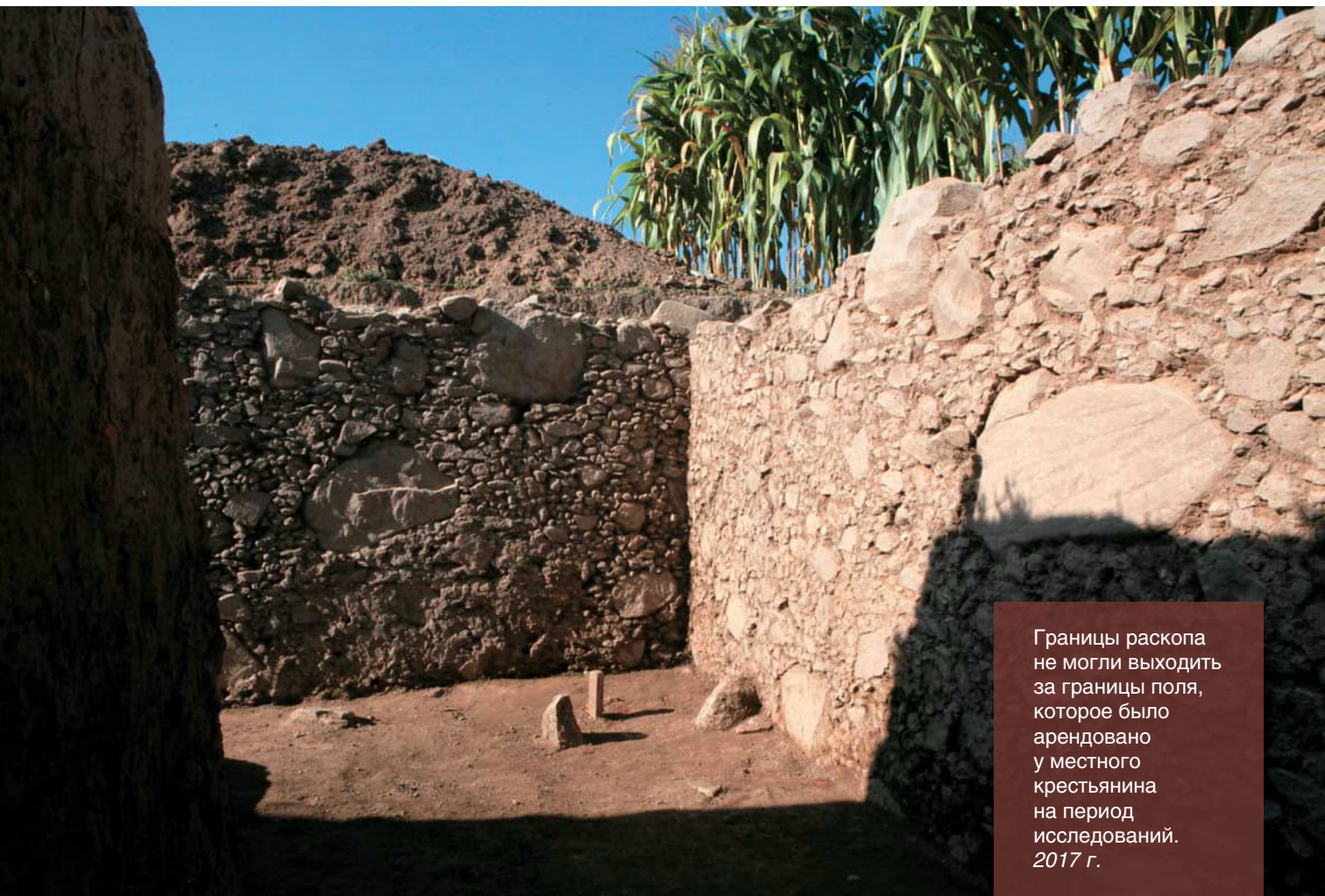
Наш отряд впервые приехал на Ахан в октябре 2015 г. В это время поля уже свободны от посевов, что позволяет изучить состояние почв, увидеть рельефные признаки памятника и провести геофизические исследования, а также снять топографический план нужного участка.

В наши дни обширная территория памятника Ахан занята сельскохозяйственными угодьями. Естественный рельеф памятника уничтожен, и на ровной поверхности выделяются лишь насыпные межевые полосы. Сам грунт глинистый и влажный, к тому же содержит многочисленные включения обожженной глины и обломки керамики. Все эти обстоятельства очень усложняют работу археологов, поэтому для поиска и идентификации объектов было запланировано использовать метод



Инженер-геодезист
Е. Кравченко проводит
топографическую съемку
на памятнике Ахан. 2015 г.





Границы раскопа не могли выходить за границы поля, которое было арендовано у местного крестьянина на период исследований. 2017 г.

магнитометрии. Кроме того, на территории памятника требовалось провести *тахеометрическую съемку* для топографического плана, чтобы увязать участки геофизических работ и будущие раскопы между собой и с рельефом местности.

То, что изучение памятника Ахан с самого начала стало проводиться на междисциплинарной основе, очень важно: это принципиально меняет стратегию археологических исследований и повышает качество раскопок. Благодаря использованию метода магнитометрии нам удалось дистанционно, не разрушая культурный слой, обнаружить археологические объекты на территории, давно используемой под посевы, и определить планиграфические особенности этого комплекса. На основании результатов измерений магнитной восприимчивости был сделан качественный прогноз относительно источников наблюдаемых положительных и отрицательных магнитных аномалий, который полностью подтвердился результатами проверочных археологических раскопок.

Раскопки на Ахане

В 2017 г. мы вернулись на Ахан, чтобы в ходе археологических раскопок получить информацию, необходимую для дальнейшей интерпретации геофизических результатов, а также для определения культурной принадлежности памятника, характера и датировки обнаруженных конструкций. Силами студентов Кашмирского университета были произведены раскопки на наиболее перспективном участке, где в 2015 г. были выявлены геометрически четкие контуры двух или трех сооружений.

Раскоп № 1, на котором получены самые интересные результаты, был разбит на месте, где, согласно данным магнитометрии, находилось сооружение П-образной формы с каменными стенами метровой ширины. Сразу после удаления верхнего пахотного слоя обнаружилась горизонтальная поверхность с развалом камней. После расчистки стало ясно, что камни относятся к верхней части стены.

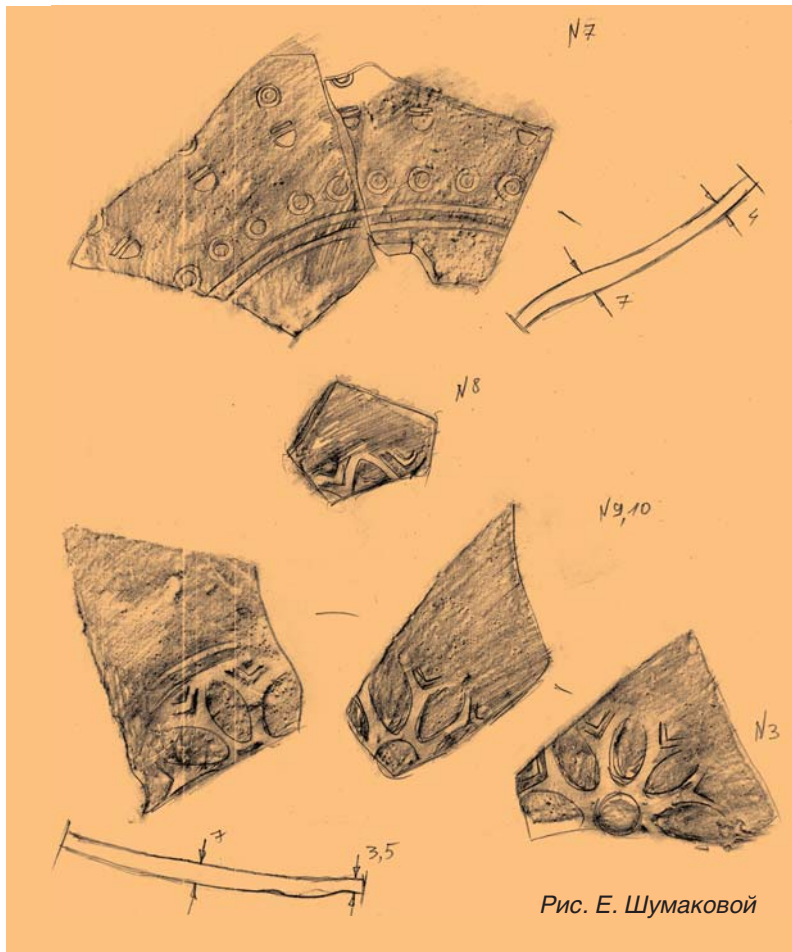


Рис. Е. Шумаковой

Сами стены были сложены очень аккуратно: они строились монолитом из мелкого щебня с острыми гранями, чередующегося с крупными и мелкими кусками серого мраморовидного известняка. Этот строительный материал мог добываться неподалеку: примерно в 10 км к северу от полей Ахана имеется невысокая горная цепь. Большие камни, очевидно, никак не обрабатывались и имели разные размеры и конфигурацию, но обязательно одну сторону с ровной «лицевой» поверхностью. Гладкость и ровность поверхности стен указывала на то, что для строительства использовались опалубка и строительный раствор, которым скреплялись камни и щебень.

Эта каменная кладка больше всего напоминает кладку, известную по раскопкам Дж. Маршалла в Таксиле, одном из важнейших городов исторической области Гандхаре в современном Пакистане. Раскапывая в течение 20 лет разновременные археологические комплексы, этот британский археолог выделил несколько разновидностей каменных кладок, соответствующих определенным историческим периодам. На основе полученных данных каменную конструкцию памятника Ахан





Рис. Е. Шумаковой



ИСТОРИЯ В «ГЛИНЕ»

Большая и разнообразная коллекция керамики, собранная на памятнике Ахан, представляет собой фрагменты посуды, а также светильников и сосудов уникальных форм. Всю эту коллекцию можно разделить на три отдельных комплекса, соответствующих трем периодам «жизни» Ахана. Первый комплекс связан с нижним слоем завала над разрушенным зданием, где были найдены части поддонов, фрагментов бокалов с серым и красным ангобом (покрытием из жидкой глины, наносимым перед обжигом), части кувшинов с очень хорошим плотным ангобом и лощением прекрасного качества. Здесь же были найдены фрагменты светильников в виде тарелочек с закопченными краями. По аналогии с керамикой Северного и Восточного Афганистана этот комплекс можно датировать как концом индоскифского времени, так и временем правления первых кушанских царей, т. е. I в. до н. э. – I в. н. э. Это отчасти подтверждается и случайной находкой на Ахане монеты кушанского царя Вимы Такто. Второй комплекс связан со слоем выше уровня основания каменной стены и с завалом под слоем

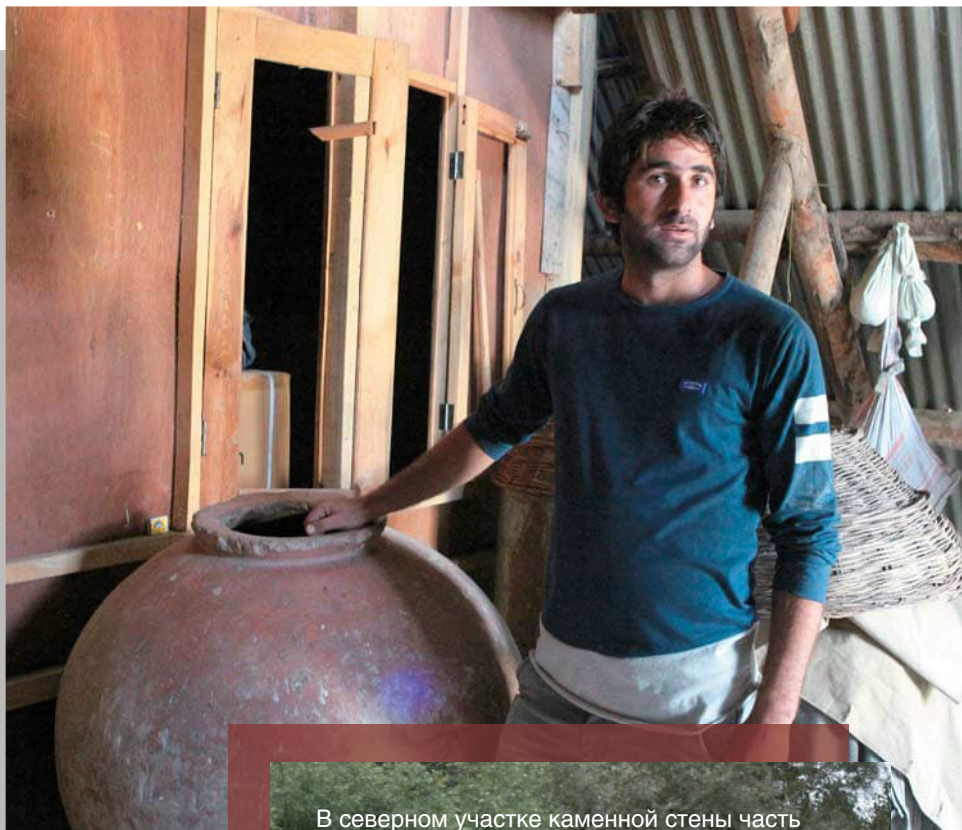
можно датировать периодом III в. до н. э. – I в.

После расчистки выяснилось, что стена была двойной, а ее внутренняя часть забита камнями и грунтом. Это обстоятельство наряду с толщиной свидетельствует о том, что каменные стены, скорее всего, служили цоколем, на котором раньше стояли стены из *пахсы* (прессованного глинистого строительного материала), поддерживающие перекрытия для крыши. Такой мощный, технически грамотно построенный цоколь мог, безусловно, выдержать очень тяжелую крышу.

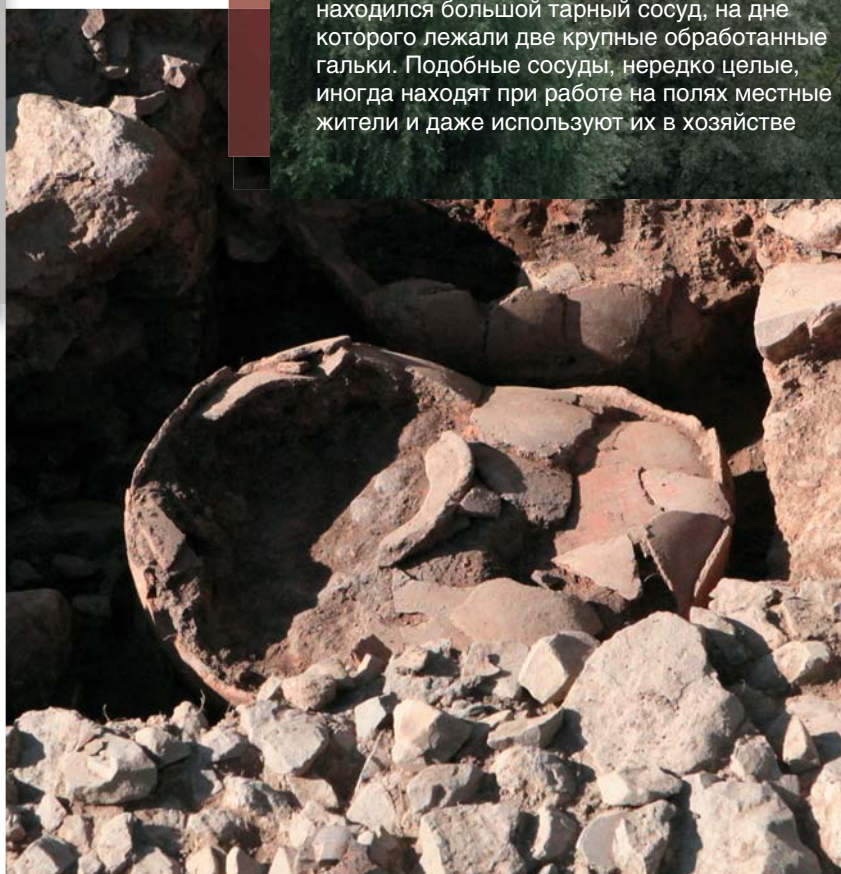
Назначение этого сооружения пока неясно – наши находки не дают

обожженных кирпичей и черепицы. Он представлен сосудами очень хорошего качества с ярко-терракотовым черепком в изломе и ангобом ярко-терракотового или красного цвета. Здесь были обнаружены фрагменты фигурных чаш, сосудов с носиками, со штампами, с прочерченными знаками или свастики, а также фрагменты изящного маленького кубка с двусторонним ангобом и лощением и крышечкой с шишечкой. Все это говорит об особом назначении не только этих предметов, но и самого сооружения, где они употреблялись. Этот комплекс может быть отнесен к периоду великих Кушан, т. е. ко II в., что подтверждается случайной находкой монеты Канишки I, самого известного царя Кушанского царства. Третий комплекс керамики относится ко времени разрушения сооружения и вторичному использованию его каменных стен. В него входят сосуд, найденный в нише каменной стены в раскопе № 1, а также тарные сосуды с плоским, отогнутым наружу венчиком и крышками из раскопа № 3. По аналогии с керамикой северного Пешавара этот комплекс можно датировать III в.

однозначного ответа на этот вопрос. На сегодняшний день на Ахане удалось выделить три периода заселения на основе керамики – основной и единственной категории находок на памятнике. В каждом из этих периодов керамические изделия в определенной степени повторяются как по типам сосудов, так и по технике их изготовления, что позволяет рассматривать эти керамические комплексы взаимосвязанно. На основе полученных данных можно выделить три последовательных временных периода существования памятника, от конца индоскифского времени до конца кушанского. Дальнейшие



В северном участке каменной стены часть кладки была некогда разобрана – в этой нише находился большой тарный сосуд, на дне которого лежали две крупные обработанные гальки. Подобные сосуды, нередко целые, иногда находят при работе на полях местные жители и даже используют их в хозяйстве





исследования памятника и его керамических комплексов позволят более точно определить не только его датировку, но и функциональное назначение сооружения с каменным цоколем.

Совместные российско-индийские археологические исследования на территории штата Джамму и Кашмир, начавшиеся в 2015 г., привели к тому, что спустя два года в Кашмирском университете, впервые за всю его историю, был набран курс студентов, специализирующихся по археологии, которые приняли участие в раскопках на памятнике Ахан в 2017 г. Для молодых людей это был первый опыт работы на археологическом памятнике, в ходе которого стало понятно, что для дальнейшей самостоятельной работы им необходимо получить основательные навыки полевых и камеральных исследований.

Так возникло решение провести для студентов Кашмирского университета археологическую школу, что и было осуществлено летом 2018 г. в Центре по изучению Центральной Азии российскими специалистами из ИАЭТ СО РАН. Небольшой курс включал лекции и практические занятия по самым насущным вопросам, связанным с полевыми работами и обработкой материалов.

Студенты на практике познакомились с принципами разбивки раскопов, нивелировкой, ведением планов раскопок. Самым массовым материалом на археологических памятниках Кашмирской долины является керамика, поэтому работе с ней было уделено особое внимание. Помимо лекции по основам археологического рисунка были проведены занятия по рисованию керамических изделий, пользовавшиеся особой популярностью, – каждый студент старался добиться лучшего результата, следуя указаниям художника



Елены Шумаковой. Так как в руки археологов крайне редко попадают целые керамические сосуды, было очень важно научить студентов собирать из битых черепков если не сам сосуд, то хотя бы его часть, чтобы было возможно определить первоначальную форму изделия. Для приобретения навыков в этом нелегком деле были проведены практические занятия. Опытный химик-технолог и реставратор Людмила Кундо прочитала лекцию о первичной консервации находок непосредственно «в поле».

По окончании школы каждый студент получил сертификат. Так была начата подготовка команды, которая сможет принимать участие в масштабных исследовательских работах в Кашмире. Ведь удивительная история этого региона известна в основном по письменным источникам, и она может быть существенно дополнена





археологическими исследованиями, которые не только корректируют и дополняют уже имеющиеся знания, но и открывают новые.

Для нас же памятники кушан в Кашмирской долине – это возможное продолжение истории пазырыкцев, но уже в ином историческом контексте. Так же, впрочем, как и возможный пазырыкский след в культурах Тибета. Китайские источники свидетельствуют о том, что часть юэцжи, названная в них «малыми юэцжи», бежала от преследований хунну на юг, в Тибет, где они стали жить совместно с тибетоязычными *цянами*. Но это уже другая история.



Литература:

Ртвеладзе Э. В. Великий индийский путь: из истории важнейших торговых дорог Евразии. СПб.: Нестор-История, 2012. 296 с.

Руденко С. И. Культура населения Горного Алтая в скифское время. М.; Л., 1953. 402 с.

Литвинский Б. А. Индия и Центральная Азия // Азия – диалог цивилизаций. М.: Гиперион, 1996. С. 153–193.

Полосьмак Н. В., Кундо Л. П., Балакина Г. Г. и др. Текстиль из «Замерзших» могил Горного Алтая IV–III вв. до н. э. (опыт междисциплинарного исследования). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 267 с.



Руководитель и участники международного проекта «Археологические исследования путей миграции между Центральной Азией и Кашмиром в древности и средневековье» благодарят руководство и спонсоров фонда Gerda Henkel Stiftung (Дюссельдорф, Германия) за поддержку научных исследований на территории Кашмирской долины в Индии. Автор благодарит специалиста по греко-бактрийскому и кушанскому периодам А. П. Дружинину (Берлин) за консультацию по керамическому комплексу Ахана

В публикации использованы фото автора и других членов отряда



Наши достаточно частые и разнообразные поездки по Китаю практически всегда были связаны с работой над долгосрочными исследовательскими проектами и осуществлялись при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда, а затем Российского фонда фундаментальных исследований. В этих по необходимости кратких «путевых заметках» мы остановимся только на некоторых приоритетных для нас направлениях...

Ключевые слова: Сиань, Кашгар, Синьцзян, Турфан, Пекин, музей, «аллея духов», мультикультурализм, Цинь Шихуанди, некрополь Сяохэ, бисе, минские гробницы Шисаньлин.

Key words: Xian, Kashgar (Kashi), Xinjiang, Turfan (Turpan), Beijing, museum, "spirit's path", multi-culturalism, Qin Shihuangdi, Xiaohe graveyard, "bixie", Ming tombs of Shisanling

С. А. КОМИССАРОВ, А. И. СОЛОВЬЕВ, М. А. КУДИНОВА

КИТАЙ, разный И ВЕЧНЫЙ



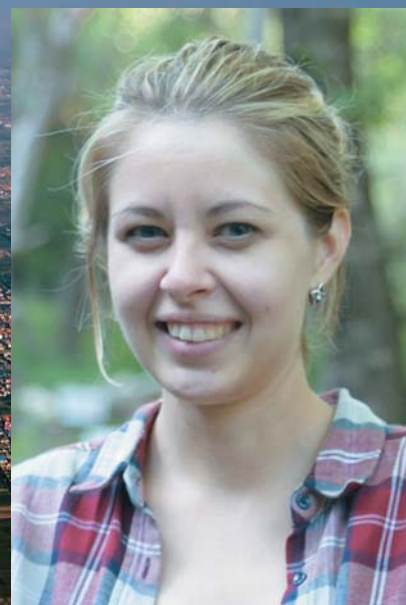
123



КОМИССАРОВ Сергей Александрович – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск), профессор кафедры востоковедения и НОКЦ «Институт Конфуция» Гуманитарного института Новосибирского государственного университета. Автор и соавтор более 250 научных работ



СОЛОВЬЕВ Александр Иванович – доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник отдела археологии палеометалла Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 120 научных статей и 8 монографий



КУДИНОВА Мария Андреевна – кандидат исторических наук, докторант Института археологии и музееведения Пекинского университета (КНР), старший преподаватель кафедры востоковедения Гуманитарного института Новосибирского государственного университета

© С. А. Комиссаров, А. И. Соловьев, М. А. Кудина, 2018

Начать нужно, несомненно, с Синьцзяна, нашего южного соседа. Синьцзян-Уйгурский автономный округ (СУАР) закрывает западный участок российско-китайской границы, пересекающей Горный Алтай. Этот так называемый сибирский стык длиной всего 55 км – все, что осталось от имперских и советских времен.

Население региона, состав которого сильно менялся, поддерживало тесные контакты с народами Центральной Азии и Южной Сибири в период от эпохи бронзы до Средневековья, поэтому реконструкция их истории в отрыве друг от друга может привести к неверным выводам. Многочисленные археологические находки хранятся в музеях СУАР, особенно в его административном центре – г. Урумчи. Больше всего нас поразили вещи из могильника бронзового века Сяохэ, обнаруженного в центре великой пустыни Такла-Макан. Благодаря засушливому климату хорошо сохранились органические материалы – в данном случае деревянная утварь, одежда из шерстяной ткани, войлочные колпаки,

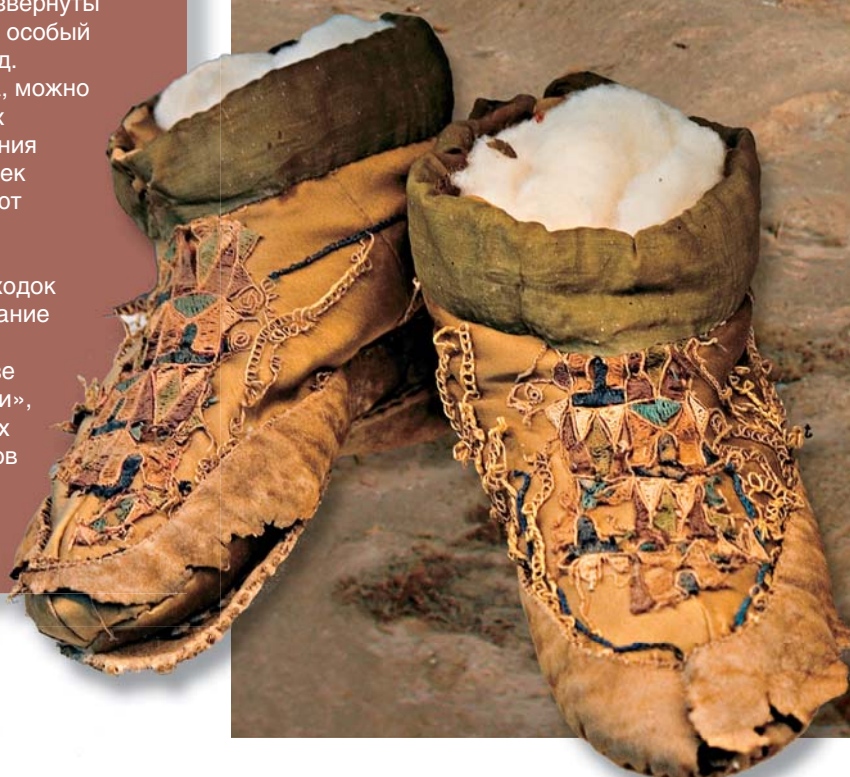
кожаная обувь и даже остатки пищи. В некоторых могилах лежали деревянные куклы и маски – несомненно, портреты, пусть даже немного шаржированные. Но вот чьи? Длинные носы и круглые глаза наводят на мысль о немонголоидной принадлежности их прототипов: быть может, эти черты присущи обитателям загробного мира?

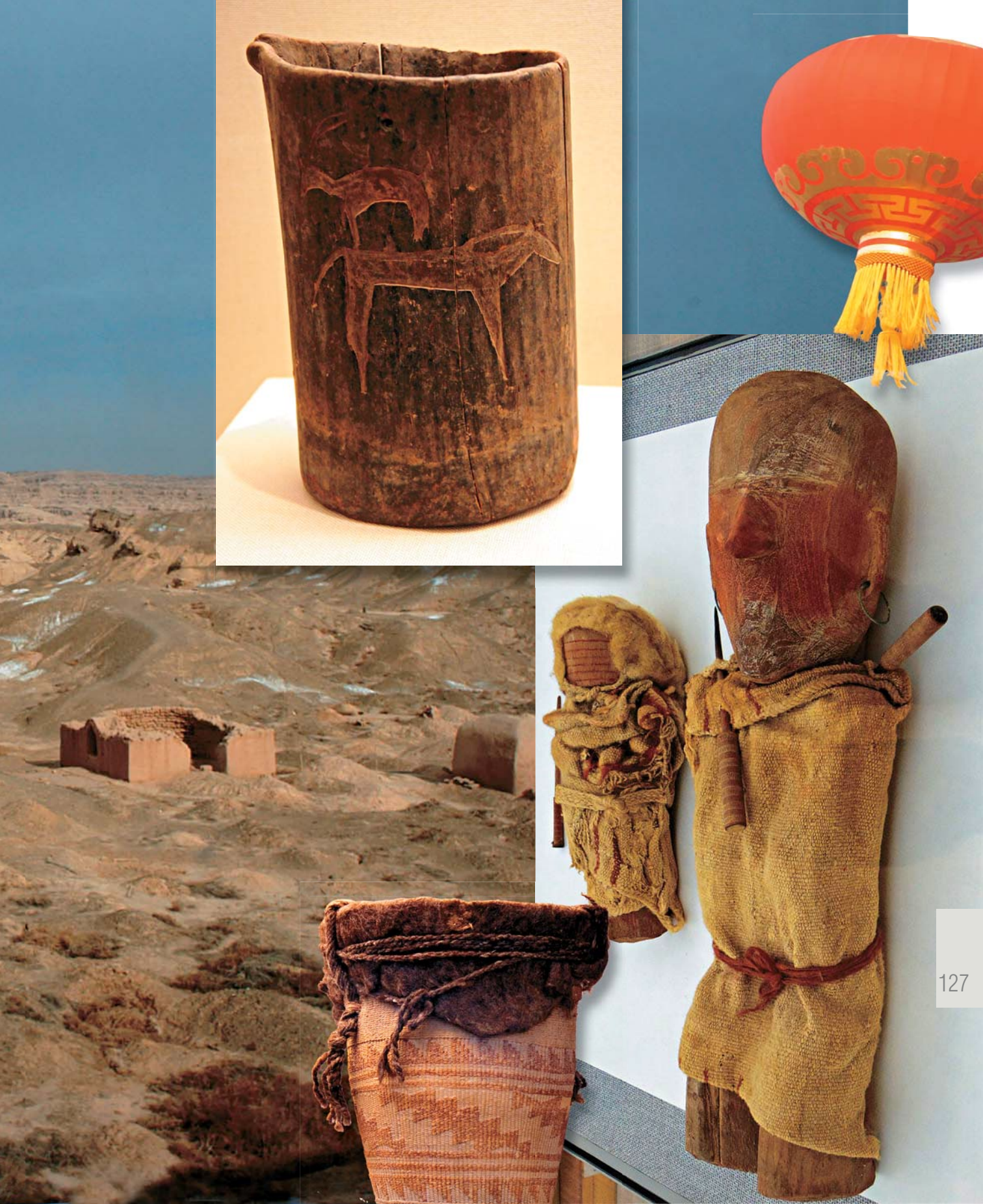
Результаты палеогенетической экспертизы свидетельствуют о европеоидном, но с примесью монголоидности, населении того времени. Такой анализ стал возможным благодаря еще одной особенности археологии этого края, где вследствие все той же засушливости хорошо сохранились не только погребальные конструкции и инвентарь, но и сами погребенные тела, подвергшиеся естественной мумификации. Некоторые раннесредневековые мумии поражают не только пышной одеждой и прической, но и паразитами, которые сохранились, к примеру, в косах знаменитой «принцессы Крорайны» (гигиена не была сильным местом у древних).





Безводные пространства гигантской пустыни Такла-Макан в центре Таримской впадины сохранили не только стены старинных караван-сараев, но и редкое разнообразие предметов из органических материалов мира людей эпохи бронзы и раннего железного века. Среди них и тончайшие войлоки, из которых шились конические, украшенные шерстяными шнурами и перьями колпаки-шапочки и выкраивались покрывки для искусно сплетенных сосудов для пищи с легко узнаваемым орнаментом на стенках. И расшитые мокасины с мягкой подошвой и погребальные куклы детей и взрослых, облаченные в тканые одежды, а иногда и войлочные шапочки. Лица скульптурок покрыты красной краской и обмотаны поперечными витками шерстяной нити. Любопытно, что ступни у них развернуты в обратную сторону, что указывает на особый характер движения – затылком вперед. В этой детали, как и в раскраске лица, можно усмотреть отражение идей, известных в системе традиционного мировоззрения урало-алтайских народов. Нити поперек утрированно носатых личин заставляют вспомнить линии, перечеркивающие лица антропоморфных изображений Северной Азии. И, наконец, среди находок скифского времени привлекают внимание тонкостенные деревянные кубки с резными фигурками животных в позе так называемой «внезапной остановки», столь знакомой по рисункам на скалах и литье на рукоятках бронзовых клинков Южной Сибири







В те минуты, когда стихает ветер, оседает пыль и над мертвым пространством пустыни выглядывает солнце, унылое сероцветие окружающих песчаных кряжей преобразуется и являет глазу палитру ярких красок, что смягчают безрадостный вид окружающего пейзажа.

Облик мумий, сохранившихся здесь благодаря засушливости климата и частичной засоленности почв, демонстрирует европеоидный облик населения древних оазисов, что подтверждено результатами палеогенетической экспертизы. Это относится и к пышноволоной «Принцессе из Крорайны», манекен которой размещен в залах Музея Синьцзян-Уйгурского автономного района (г. Урумчи) рядом с экспозицией безвестной женской мумии, прикрытой сетчатой тканью, а также к мумии горбоносого мужчины с желтой спиральной раскраской лица и его манекену, стоящему рядом с «нагайкой» в руке



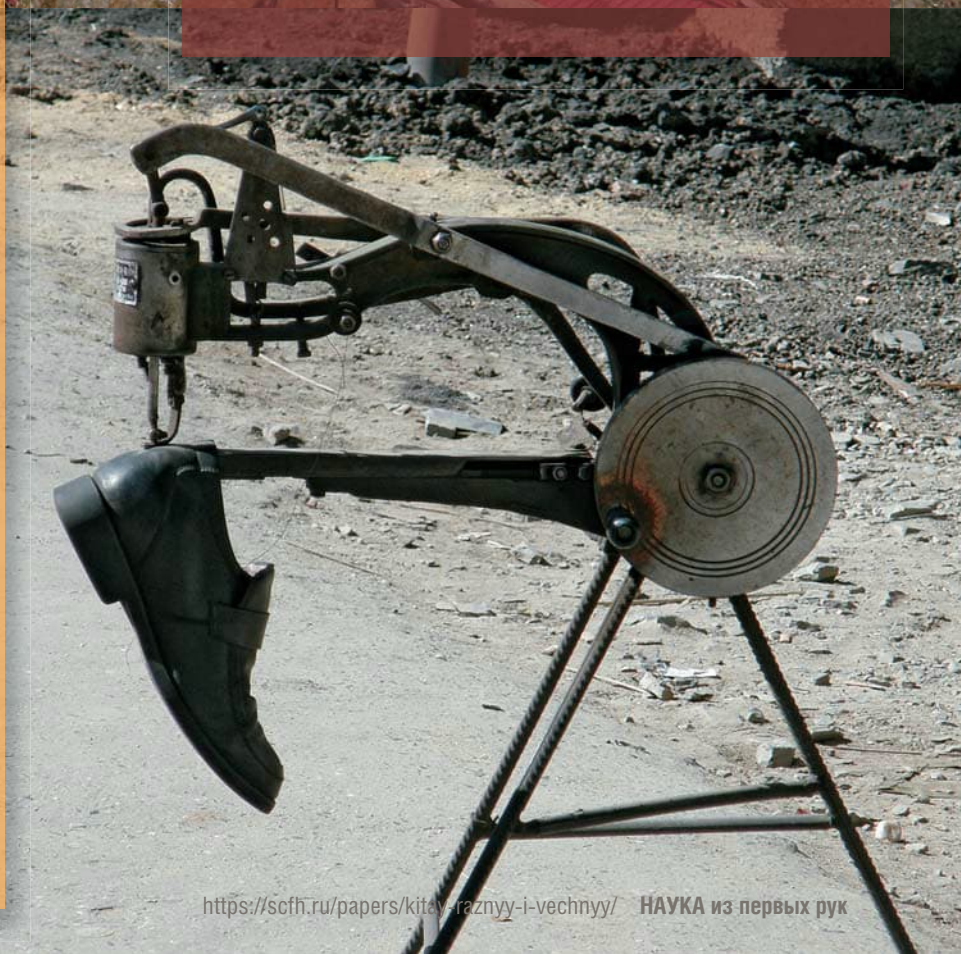




В г. Алтай в летний день можно посидеть на бронзовой волокуше, которую тянет бронзовый бык с мальчиком на хребте, одетым в плоскую шапочку и жилетку с характерным для тюркоязычного населения орнаментом. Здесь многое без слов понятно иностранцу. Например, привычные замки на перилах ограждений или простая и наглядная реклама у лавки по ремонту и пошиву обуви из старинной, но действующей швейной машинки и вполне приличного башмака. Мост через быструю горную речку, протекающую в городе, с обеих сторон охраняют парные буддийские символы. Согласно принятой в Китае традиции, они должны отпугивать злые и разрушительные силы от поползновений на объект, находящийся за их спиной



130





Кроме «столицы» края нам удалось посетить многие окружные и уездные центры: Турфан, Хами (Кумул), Корлу, Кульджу (Инин), Алтай, Аксу, Кашгар и др.; с каждым из них связаны особые впечатления. Например, город Алтай как брат-близнец похож на наш Горно-Алтайск: такой же невысокий, в основном малоэтажный, уютно приютившийся в относительно нешироком распадке, по которому протекает быстрая горная речка. И от него также можно за несколько часов доехать до заповедника, в центре которого – живописнейшее глубоководное озеро Канас.

А поездка в Хами, помимо археологической, имела и аграрно-гастрономическую составляющую. Дело в том, что именно из этого района еще в Средние века были завезены в Северный Китай дыни, что даже закрепило в названии этой культуры: в китайском языке дыню до сих пор называют «хамийская тыква» (*хамигуа*). Ну как было не попробовать эту «тыкву» в самом Хами? Дыни там действительно продаются на каждом углу, очень красивые, довольно дорогие и вкусные,

вполне. Но, да простят нам средневековые бахчеводы, мы бы для интродукции выбрали туркменские или ферганские сорта, более сладкие и ароматные. И назывался бы этот сладкий овощ ничем не хуже – «ферганская тыква» (*даюаньгуа*).

Запомнилась также поездка в Кашгар, где приходилось буквально сторожить лучшую (женскую) часть нашего небольшого коллектива, которую заросшие щетиной уйгурские джигиты провозжали огненными взорами... Объясниться там на китайском языке было практически невозможно. Например, мы долго и безрезультатно пытались сказать таксисту, что нам нужен музей, даже показывали его на карте – никакого результата. Помогло то, что водитель услышал слово «музей», когда мы между собой обсуждали возникшую ситуацию, естественно, по-русски. Оказалось, что по-уйгурски это слово звучит очень похоже. Повезло. Но к следующим поездкам в район Кашгарии нужно будет специально подготовиться, подучив какой-либо из тюркских языков.





В строениях на центральной площади Кашгара просматриваются характерные черты, знакомые нам по старинной средневековой архитектуре среднеазиатских городов нынешнего ближнего зарубежья. Сюжеты восточных сказок «Тысячи и одной ночи» вспоминаются при взгляде на большие бронзовые кувшины и седобородого «аксакала», дремлющего под теплыми солнечными лучами. А зеленые клумбы, выполненные в виде верблюдов, прозрачно напоминают о Великом Шелковом пути, некогда проходившем через город







Сиань, центр провинции Шэньси, существует уже более 30 столетий. На его территории и в ближайших окрестностях располагались столицы 13 династий Китая, в том числе Чжоу, Цинь, Хань, Суй и Тан. Центральную часть города окружает 12-метровая и мощная (до 18 м у основания), хорошо сохранившаяся крепостная стена минского времени, простоявшая здесь более 600 лет. В ночное время ее зубцы подсвечиваются сплошной линией огней, а проездные арки частично переходят во власть пешеходов. В середине центральной площади города стоит Барабанная башня, построенная в начале династии Мин (1380 г.), получившая свое название от традиции отмечать окончание дня боем размещенных внутри нее ударных инструментов. Ночная подсветка рельефно рисует на фоне темного неба плавные изгибы крыш и узорчатый декор карнизов всех ее трех ярусов и, будто смывая со стен следы времени, возвращает древнему строению яркость и свежесть первозданных красок

Центральная равнина – колыбель китайской цивилизации

Еще одно направление, которое постоянно влечет к себе археолога и востоковеда, а уж тем более археолога-востоковеда, – это пространство от Чжэнчжоу до Баоцзи, знаменитая Центральная равнина (Чжунъюань), где сформировалась и достигла одного из пиков своего развития китайская цивилизация.

Особенно радуют две древние столицы, Лоян и Сиань (Чанъань), где концентрация памятников превышает все ожидания. Можно вспомнить, как в 2002 г. во время проведения ремонтных работ в центре Лояна было обнаружено сравнительно небольшое (всего «каких-то» 600 могил) кладбище периода Восточного Чжоу (примерно VI–V вв. до н.э.), в составе которого впервые найден жертвенный комплекс с колесницей, запряженной шестеркой лошадей. Столь статусный, в шесть лошадиных сил транспорт мог принадлежать только Сыну

135





Семиярусная Большая пагода диких гусей (слева), построенная в Сяне в середине VII в., высятся над стенами монастыря, расположенного у ее основания. Малая пагода диких гусей (вверху), построенная на столетие позже для хранения буддийских рукописей, в середине XVI в. сильно пострадала от «Великого землетрясения» и в таком виде дошла до наших дней (считается, что строение даже «вросло» в землю). В районе пагод много современных памятников выдающимся китайским «властителям дум»: поэтам, мыслителям, художникам, ученым. А перед крепостной стеной расположены целые скульптурные композиции, отсылающие зрителя к минувшим временам великой славы города и страны

Неба. Поэтому в очень сжатые сроки были проведены спасательные раскопки, после чего с площади убрали «лишние» здания и возвели на их месте прекрасный музей, посвященный уникальной находке. По этому поводу следует отметить, что за последнюю четверть века по всей стране построены и оснащены по последнему слову техники многие десятки великолепных музеев, которые имеют свои собственные исследовательские и реставрационные центры. Строятся такие культурные центры масштабно и на дальнюю перспективу.

Что касается Сианя, то там только один мавзолей Цинь Шихуанди с его терракотовой армией дал столько новых сведений о древней истории, что на их осмысление потребуется не одно десятилетие. Но главная интрига там даже не в тех открытиях, которые продолжают случаться на этой музеефицированной территории ежегодно, а в том, что это всего лишь подступы к главной могиле, где захоронен первый циньский император,

на стр. 142





Многоликие улицы Сианя... Перед аркой стоят реплики каменных столбов-стел, увенчанных скульптурами сакрального пантеона. За ними – один из огромных старинных парков, окружающих исторические здания и великолепный музей Бэйлинь («Лес Каменных Стел») в храме Конфуция, где вместе с коллекцией надгробий, каменных статуй, эпитафий, каменных барельефов и образцов древней каллиграфии и хранятся, собственно, оригиналы этих стел.

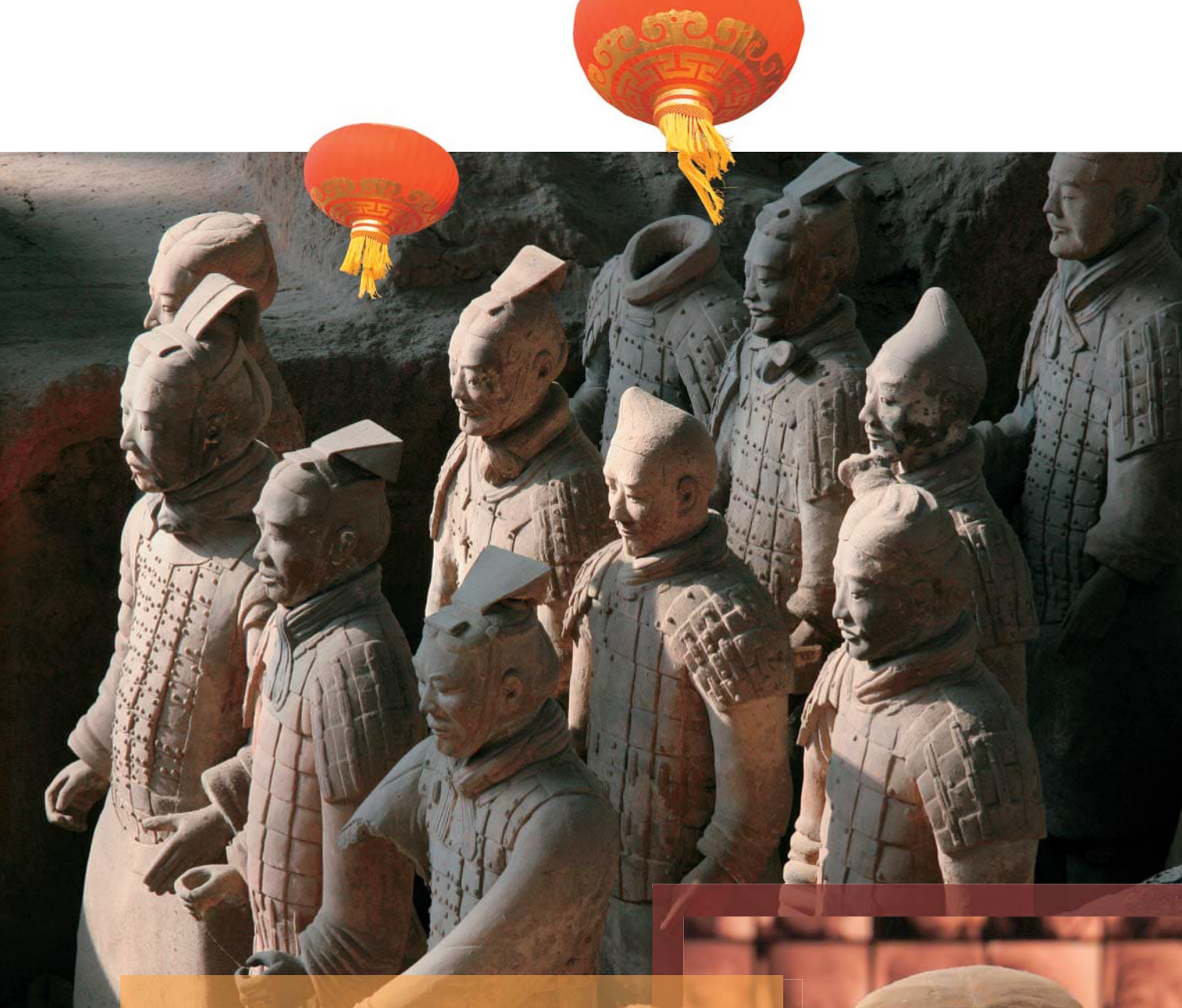
С наступлением темноты оживает Исламская улица, по которой некогда проходил Шелковый путь. Она быстро заполняется торговцами, лотками с лакомствами, сувенирами и иной, трудно вообразимой для заезжего человека всячиной. У вас на глазах из отбитого и перемешанного ударами молотков-колотушек теста магическими размашистыми движениями ловко, словно в диковинном цирке, вытянут тончайшую лапшу, которую тут и приготовят в кипящем, насыщенном специями бульоне, раскатают и испекут лепешки, запекут или зажарят свежайшее мясо, выставят истекающие густой патокой разнообразные сласти. Здесь шумно и весело. Наверное, как на тех самых роскошных восточных базарах, которые предстают в воображении при чтении сказок... А тем временем на скутерах, стараясь особо не сигналить, сквозь толпу пробираются к своим рабочим местам торговцы и мелкие оптовики





Знаменитая глиняная армия из мавзолея первого императора Китая Цинь Шихуанди в Сиане. Правда, есть мнение, что это еще не совсем войско, а нечто вроде «полицейских» подразделений. Раскопки комплекса продолжают по сей день, и за их ходом могут следить многочисленные посетители музейного комплекса. Фигуры воинов делались по стандартным шаблонам. А головы лепились отдельно, и каждая из них, обладая индивидуальными чертами, передает персональный образ. До сих пор не ясно, кого же изображали глиняные персоны: живых людей или уже умерших? Образ воина терракотовой армии стал своеобразным символом современного Китая и используется в массе сувенирной, рекламной и игровой продукции





141

об исключительном богатстве которой повествуют древние летописи (золотые звезды на потолке, моря и реки из ртути внизу и т. п.).

А ведь кроме главной циньской гробницы есть еще целое созвездие захоронений ханьских императоров, где из 11 комплексов пока раскопан (да и то не полностью) только один Янлин, мавзолей императора Цзин-ди (даты правления 157–140 гг. до н. э.). Там также найдена целая «загробная армия» – около 50 тыс. (!) керамических фигур животных и людей, правда, гораздо меньше (не более 1/3) натуральной величины. Войско состояло из пехоты и всадников, а еще тысячи фигурок изображали дворцовую прислугу мужского, женского и среднего пола. Последняя черта вызывает особое восхищение. Гендерные различия, равно как и принадлежность к евреям, были тщательно воспроизведены через первичные половые признаки, которые затем заботливо укрыли шпильками по размеру кукольными одеждами. К этому следует добавить целые стада терракотовых собак, свиней,

на стр. 146

Находки из Янлина, единственного на сегодняшний день раскопанного «царского» мавзолея императора Цзин-ди в округе Сяньян, явили свету миниатюрные скульптуры воинов, чиновников, придворных, колесничих, погребенные, как и в случае с циньской терракотовой армией, в специальных траншеях. Каждая из этих фигур раскрашивалась, одевалась в облачения, снабжалась миниатюрным оружием и другой, соответствующей занимаемому статусу, атрибутикой. Такие фигурки выстраивались в ряды специальных процессий, где каждая из них занимала строго ранжированное положение

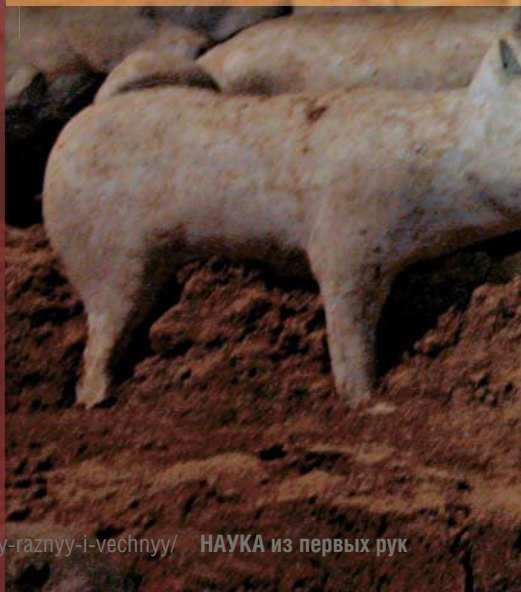




143



Целые отряды из терракотовых фигурок домашней живности сопровождали покойного императора Цзин-ди. В мавзолее Янлин несложно отыскать весь набор служивших человеку представителей животного мира. Судя по количеству и разнообразию пород псовых, число которых намного превосходило все разумные потребности скотоводческого и охотничьего хозяйства, некоторые из представителей этого отряда занимали свое место в пищевой цепочке, другие же могли нести воинскую и караульную службу







птицы. И это только одна могила не самого «крутого» из ханьских правителей. А еще есть 18 мавзолеев императоров династии Тан, до которых, правда, надо добираться 2–3 часа. Полностью или частично раскопано только два из них, значительная часть найденных там погребальных статуэток выставлена в экспозиции Шэньсиского исторического музея.

Пекин – вчерашний, сегодняшний и завтрашний

Ну и, конечно, большинство путешествий начинается и заканчивается в Пекине – городе, где глубокое прошлое и стремительное настоящее сливаются в неповторимом единстве. Когда невысокие строения с глинобитными стенами и черепичными крышами, теснящиеся на узких улицах, сменяются могучими высотками со столь знакомыми нам признаками «сталинского барокко»,

впрочем, разбавленного элементами национального зодчества. В свою очередь, высотки уступают место техногенным небоскрегам, стоящим вдоль широких проспектов, размеры которых перекрывают все мыслимые в наших городах стандарты (более десяти полос в один ряд).

Трудно подобрать эпитет темпу, с которым меняется город. К примеру, два-три года назад вплотную к зданию Института археологии Академии общественных наук КНР (нашему основному китайскому партнеру) примыкал один из *хутунов*, т. е. одна из улочек с плотной застройкой традиционными домами, стоящими сомкнутым квадратом с двориком посередине, из которых и состоял большей частью старый Пекин. Их аккуратно демонтировали, сняв черепицу, после чего на освободившемся месте моментально возвели зеркальные стены нового здания.

Как и все крупные города, Пекин временами надолго замирает в пробках. Поэтому по улицам наряду



с обычными автомобилями снуют бесчисленные двух- и трехколесные экипажи и разнообразные электробайки, бесшумной волной плывущие вдоль, а то и поперек авеню и проспектов. Многие из них снабжены кузовами самой невероятной конструкции, которая наглядно свидетельствует о технической сметке и удивительной изощренной фантазии хозяев.

Между прочим, свидетельства об отсутствии общепринятых норм уличного движения в Китае – чистая правда. Ощущение такое, что дорожная разметка, знаки, светофоры выполняют лишь декоративную функцию. Положение отчасти спасают девушки-регулировщицы, которые лихо и изящно разводят встречные потоки транспорта на перекрестках. Правда, действуют они только в часы пик, привлекая восхищенное внимание иностранцев и досужих зевак из других провинций.

Вообще в столице, как нигде, ощущается пульс целой серии культурных пластов, один из которых скрыт в глубине старинных парков с их извилистыми

На улицах Пекина, да и всех крупных провинциальных центров Китая, выделены специальные дорожки для движения двухколесного транспорта, по которым лихо, невзирая на пробки, катят такие экипажи. Двигаются они и мимо ультрамодерновых зданий «Синопек», одной из крупнейших китайских нефтяных и химических корпораций, и уже старых высоток сталинских и постсталинских времен

на стр. 151

147



Современный Китай – страна быстрых и радикальных перемен. На глазах разбираются старинные узкие улочки-«хутуны» и на их месте возводятся современные кварталы. Но есть и места, где старина бережно сохраняется. Например, в Макао, о котором еще пойдет речь в дальнейшем. А в конце этой «колониальной» улицы можно рассмотреть сохранившийся фасад португальского католического храма (на фото слева)



Мобильный моторизованный транспорт, несомненно, самое массовое и популярное средство передвижения на улицах Пекина и других городов Поднебесной. Все стоянки буквально забиты многочисленными скутерами местного производства. И далеко не сразу хозяин может отыскать здесь своего «железного коня». На дорогах часто встречаются и электрические трициклы, на которых бесшумно и с комфортом путешествует прекрасная половина населения страны. Мужские варианты трехколесной техники еще недавно по большей части производили мелкие, как принято говорить у нас, «кроватные мастерские». В настоящее время почти все они уже снабжены электрическими двигателями. Но главное, что на своем «железном ишаке» китаец перевозит столько груза, сколько в состоянии сам на себя навьючить. Для рядового жителя это средство не только передвижения, но и заработка, необходимого для существования





тропинками, прихотливыми изгибами берегов искусственных водоемов с нависающими над ними каменными мостиками. Здесь из озерных глубин, поднимая легкую рябь, которая колышет сонных лебедей, листья кувшинок и белые цветы лилий, выплывают разноцветные «императорские» карпы. Все это вместе с эстетически выверенной садово-парковой архитектурой и звуками живой природы невольно погружает посетителей в созерцательное состояние.

Но «забыться и уснуть» не позволяет другой, противоположный пласт, хищный и динамичный, который скрывается за темными бронированными стеклами офисов представительских зданий, таится в глубине огромных выставочных залов современных экспонентов, пульсирует в рвущейся вперед экономике.

Наконец, еще один пласт представлен народной самобытной культурой, многогранность и разнообразие которой очень ярко видны, особенно в национальных регионах. В Синьцзяне, например, в загородной



152

На вечернем рынке на Ванфуцзине, одной из самых известных торговых улиц Пекина, можно купить и продукты, и сувениры, а заодно и перекусить

местности, рядом с домом с плоской крышей и невысокими стенами из сырцовых кирпичей можно увидеть войлочную юрту, с одной стороны которой припарковано вполне современное транспортное средство, с другой – пара косматых верблюдов, что-то методично жующих, и высохшая от времени деревянная повозка. Отдельные «корабли пустыни», а то и целые их «эскадры», бродят на вольном выпасе среди мелкой чахлой растительности.

Здесь можно встретить полуразрушенные глинобитные стены старинных караван-сараев и рядом – их современные аналоги из массивных бетонных блоков. Интересно, что и современная мототехника здесь часто подвергается своего рода ретро-апгрейду и покрывается цветастыми попонами, которые часто дополняются рядом других элементов всаднической экипировки, присущих местной культурной традиции. А куполы мусульманских погребальных мазаров особенно монументально смотрятся на фоне скромных земляных насыпей или каменных набросков погребений ханьцев.

Уличные регулировщицы – дальнейшее наследие колониальной эпохи. В таком полицейском наряде есть какая-то магия, которая заставляет водителей тормозить и любоваться на слаженную, синхронную, удивительно пластичную и грациозную работу девушек



В кабинку моторикши помещаются два, а при необходимости и четыре человека. Эти шустрые экипажи, теперь уже на электрической тяге, лихо подхватывают пассажиров везде, где только возможно. А особенно возле выхода из метро, к которому они подлетают, как ястребы к добыче





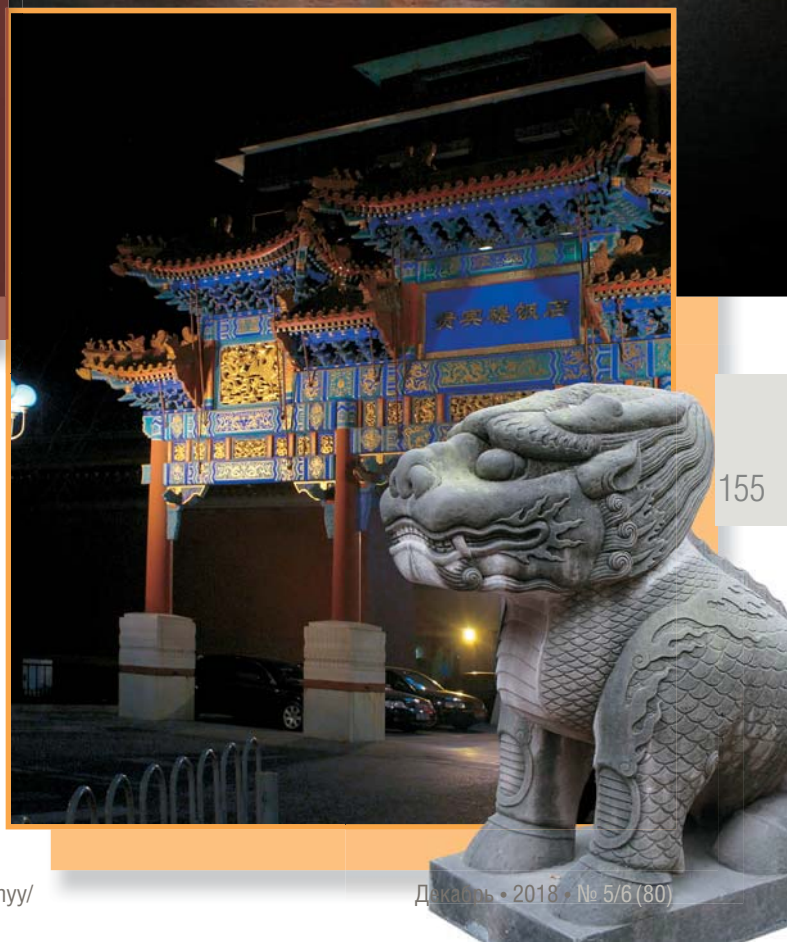


Вечерний Пекин. Запретный город (Музей Гугун) в самом сердце Пекина – крупнейший дворцовый комплекс в мире. Сейчас здесь тихо и спокойно. Ночью уже схватывается ледком вода во рву; перед воротами редкие хозяева прогуливают собак. А с противоположной стороны замерла в ночном безлюдье площадь Небесного спокойствия – Тяньаньмэнь

На улице, идущей параллельно стенам Запретного города, уже властвует темнота. И лишь бумажные фонари, как и прежде, горят у дверей небольших ресторанчиков и лавок

Союз Земли и Неба

Мультикультурализм, который с особой силой проявлялся в отдельные исторические эпохи, очень заметен в залах провинциальных краеведческих музеев. Развитие музейного дела наглядно демонстрирует общественный интерес к истории страны, объем материальных вложений и пристального внимания, которое не на словах, а на деле уделяется государством археологическим исследованиям и патриотическому воспитанию населения. Оно, кстати, успешно подкрепляется визуализацией сцен прошлого в экспозициях, музеификацией самих исторических объектов и их высокой туристической доступностью.





Старинные парки с поколениями уток и золотых карпов, с каменными мостиками, тропинками и особым образом подобранными деревьями – заметная часть эстетики традиционной китайской культуры





Одним из примеров может служить Шисаньлин (Тринадцать гробниц) – императорский некрополь династии Мин (1368–1644 гг.), расположенный в 42 км к северо-западу от центра Пекина, в долине, со всех сторон окруженной горами. Место это еще в начале XV в. выбрали самые опытные специалисты по *геомантии* (фэн-шую). «Вход» в долину, где построили некрополь, с двух сторон обрамляют две невысокие горы: Луншань (Гора Дракона) на востоке и Хушань (Гора Тигра) на западе, представляющие собой природный аналог парных привратных вышек. На юге и севере есть еще две горы, также соотносимые с правителями сторон света – Чжуцзюшань (Гора Красной птицы) и Сюаньшань (Гора Черного воина) соответственно. Расположение мавзолеев в межгорной котловине отсылает к важному в теории фэн-шуй понятию «благоприятной пещеры» – места, где проходят «драконовы жилы» (*лунмай*), т. е. подземные энергетические потоки. Комплекс Шисаньлин особенно интересен тем, что,





Одна из дорожек старинного пекинского парка, проложенных с учетом «энергетических потоков». Здесь чувствуется работа гадателей-геомантов, придворных садовников и какой-то особый ход времени

будучи своего рода квинтэссенцией развития погребальной архитектуры, он сохранил очень древние, еще доконфуцианские черты погребальной обрядности в силу известной консервативности и высокой традиционности китайского общества.

К мавзолею Чанлин (захоронение императора Чжу Ди) ведет «аллея духов», представляющая собой слегка изогнутую линию, что, с одной стороны, обусловлено особенностями рельефа местности, а с другой – связано с идеями фэншуй и традиционными китайскими эстетическими канонами, согласно которым округлые изогнутые линии более красивы и благоприятны. Набор скульптур традиционен для китайских средневековых погребальных памятников: колонны, статуи чиновников, воинов, реальных и фантастических животных.

Устройство всех гробниц сходно. Каждая из них включает подземную усыпальницу и наземные сооружения: павильон с каменной черепашей, на спине которой установлена стела с описанием заслуг и добродетелей императоров; церемониальный зал для ритуального действия; надвратную башню, откуда идет коридор к гробнице.

Устройство гробниц демонстрирует основу нового канона погребальной архитектуры эпохи Мин, главной особенностью которого становится сочетание надземных построек, образующих в плане квадрат, с круглой могильной насыпью, – танские и сунские гробницы были окружены стеной, образующей квадрат. Сочетание круглых и квадратных в плане сооружений («вперед – квадрат, сзади – круг») представляет собой пример традиционной китайской геометрической

Гостиничная высотка в Хух-Хото, по местным меркам небольшом (всего около 2 млн человек) городке на севере Китая





символики, где круг олицетворяет Небо, квадрат – Землю, а весь комплекс – их символический союз..

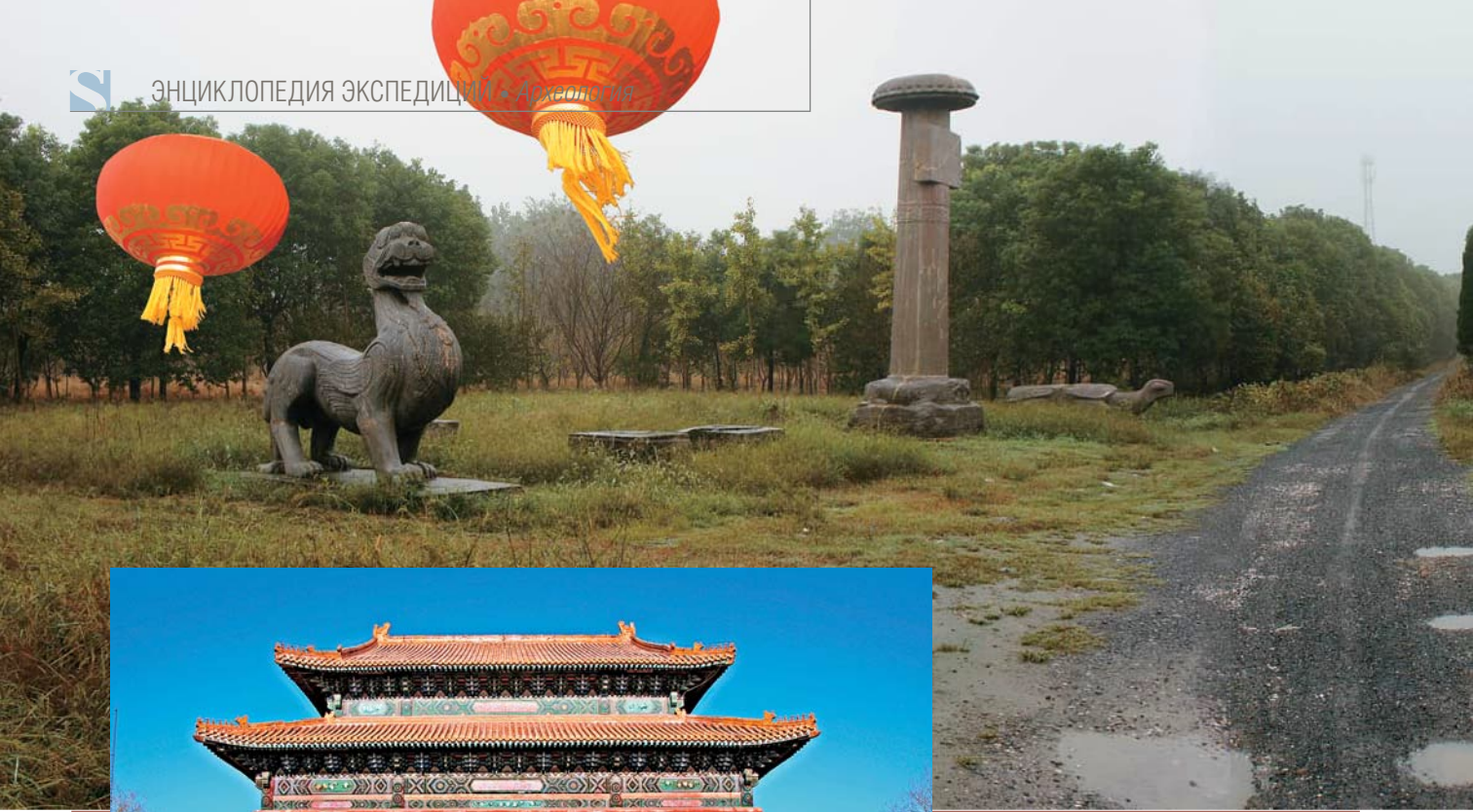
Можно отметить сходство между планиграфией гробниц комплекса Шисаньлин и планом застройки Пекина внутри городской стены. Это выражается не только в единстве архитектурных форм (ворота, арки, павильоны), их устройстве и расположении, но и в масштабах. Так, общая протяженность «аллеи духов» составляет приблизительно 7,3 км, а длина центральной застенной части Пекина по оси север-юг – 7,8 км. Это не исключительная особенность минских некрополей, она унаследована от императорских погребений эпохи Тан, повторявших планировку г. Чаньань – столицы танского Китая.

Конструкцию и наполнение подземной гробницы можно представить на примере погребения Динлин императора Чжу Ицзюня (Шэнь-цзуна) (1573–1620 гг.). В 1956–1958 гг. в результате раскопок там была вскрыта подземная усыпальница, крестообразная в плане, которая состояла из пяти залов общей площадью 1195 кв. м. Внутри были найдены скелеты самого императора и двух его жен вместе с парадными златоткаными



Модерн и живая старина: район Чаяоян в Пекине с его масштабными зданиями бизнес-центров, транспортными и людскими потоками (слева), и Синьцзян – автономный район на северо-западе Китая, со своим собственным течением времени и движением истории. Здесь, у былых дорог Шелкового пути, срывают жесткую траву верблюды – проверенный веками транспорт былых караванов. Все тут, как и в древности, и места кочевий остались те же. Только повозки на «резиновом ходу», сетка-рабица у загонов, да электричество от движка или солнечных батарей на вершине перевала...







Аллея духов одного из погребальных комплексов Шести династий (220–589 гг.) в городском уезде Даньян близ Нанкина (*вверху*). Когда-то на вершинах этих колонн стояли каменные изваяния фантастических львоподобных хищников, а на спинах черепах – памятные стелы с эпитафиями; на каменных постаментах высились фигуры воинов и чиновников. И дорога эта вводила вдаль к церемониальному павильону и мавзолею

Шисаньлин – комплекс мавзолеев тринадцати императоров китайской династии Мин в Чанпинском районе Пекина. Большой красный павильон с каменной драконообразной черепахой, несущей на спине памятную стелу, предваряет появление на маршруте «аллеи духов»





Головной убор династии Мин, украшенный жемчугом, золотом и самоцветами, обнаруженный в ходе исследования императорских гробниц в 1956–1958 гг.

одеждами, коронами из золота, самоцветов и жемчуга, золотыми слитками, украшениями из нефрита, золота, драгоценных камней... А еще была обнаружена золотая и серебряная посуда, фарфоровые вазы, ритуальные сосуды, изголовья и т. д. – всего свыше 3 тыс. предметов! По завершении раскопок в мавзолее Динлин в 1959 г. там был основан музей.

В 1961 г. тринадцать гробниц императоров династии Мин, включая Динлин, вошли в реестр особо охраняемых объектов культурного наследия Китая. Однако во время Культурной революции гробница Динлин серьезно пострадала: в 1966 г. хунвэйбины сожгли останки погребенных и уничтожили многие находки. С началом политики «реформ и открытости внешнему миру» началось восстановление памятника. С 1989 г. в Шисаньлин прекращены все археологические работы, а в 1995 г. там создан единый музей. В 2003 г. гробницы минских императоров в Пекине и Нанкине были включены в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Когда посещаешь мавзолеи древнего и средневекового Китая, то невольно сопоставляешь их устройство и планиграфию с погребальными сооружениями властителей кочевой периферии. Если отвлечься от масштабов Поднебесной и мысленно выйти за ее пределы, то можно заметить влияние идей «варварского» скотоводческого мира, которые прослеживаются в структуре и формах погребальных памятников, отчетливо проступая сквозь чисто китайский колорит.

Так, в облике ранних ипостасей «бисе», фантастического существа из bestiaria «аллеи духов», угадываются черты скифского грифона. В скульптурных рядах «аллеи духов» заметны архитектурные и, очевидно, смысловые

идеи, заложенные в ряды балбалов («каменных баб») в составе некрополей степных воителей. Идеи, которые пришли вместе с сокрушительными набегами стремительных всадников и от которых жители Поднебесной пытались отгородиться разного рода стенами (включая Великую Китайскую). Переосмысленные китайцами столетия спустя они маятником вернулись обратно в кочевой мир и, упав на благодатную почву местных традиций, вновь расцвели здесь и материализовались в средневековой каменной скульптуре, только более компактной и простой, как и жизнь самих кочевников.

Большой сосуд из белой бронзы перед входом в зал церемоний перед мавзолеем китайского военачальника и основателя царства Шу Лю Бэя

На улице Ванфуцзин, своего рода пекинском Арбате, немало небольших сюжетных скульптурных композиций, являющих прохожим былые странички жизни этого квартала. А эта живая сценка служит и эффектной рекламой обувного магазина





Новое музейное здание
в г. Баоцзи китайской
провинции Шэньси

Литература

Китайские памятники мирового наследия / Гл. ред. Го Чанцзянь. Пекин: Межконтинент. изд-во Китая, 2007. 284 с.

Кожанов С. Т. Пять прогулок по Пекину: 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. 237 с.

Комиссаров С. А., Соловьев А. И., Кудинова М. А. Бросок на Юг: Урумчи–Аксу–Кашгар // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: История, филология. Востоковедение. 2015. Т. 14. вып. 10. С. 278–282.

Комиссаров С. А., Соловьев А. И., Кудинова М. А. К изучению Шисаньлина – погребально-поминального комплекса эпохи позднего Средневековья в Китае // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: История, филология. Востоковедение. 2018. Т. 17. вып. 4. С. 46–58.

Комиссаров С. А., Хачатурян О. А. Мавзолей императора Цинь Шихуанди. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2010. 216 с.

Кравцова М. Е. Мировая художественная культура: История искусства Китая. СПб.: Лань; ТРИАДА, 2004. 960 с.

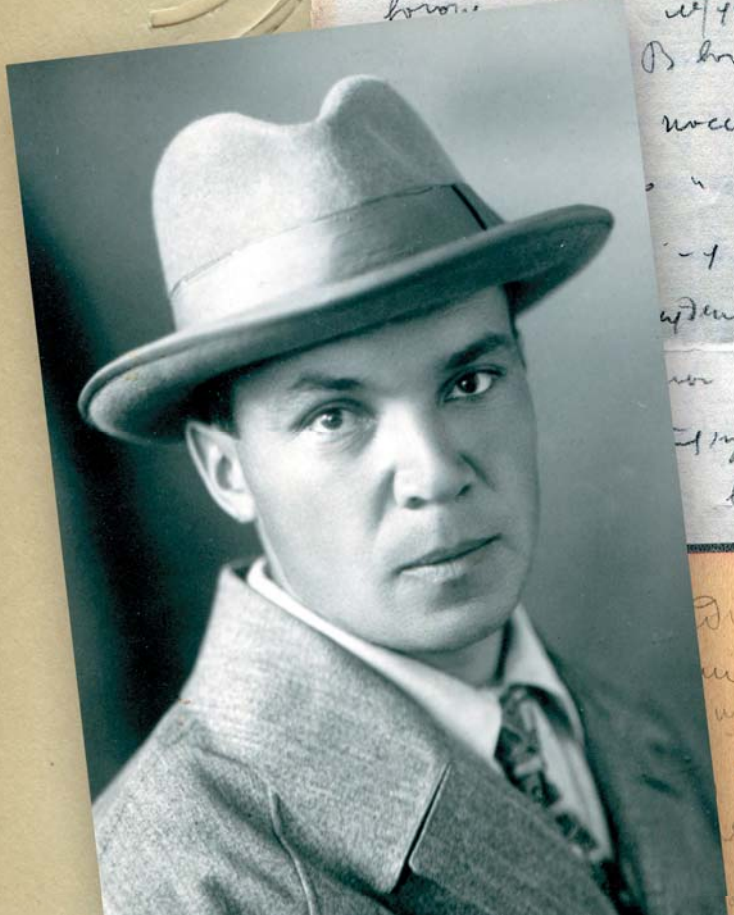
Соловьев А. И., Комиссаров С. А., Соловьева Е. А. Развитие статуарных изваяний на территории Синьцзяна // История и культура средневековых народов степной Евразии: Матер. Междунар. конгресса средневековой археологии Евразийских степей. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2012. С. 218–220.

Hu Hansheng (ed.). Shisanling [十三陵]=Ming Tombs. Beijing: Beijing meishu shiyong chubanshe, 2004. 141 p.

В истории Китая существовал целый ряд периодов, когда империя буквально впитывала в себя достижения соседей. Выявление и анализ таких внешних импульсов, с опорой на богатейшее летописное наследие Китая, открывают удивительные исследовательские возможности, дающие шанс приблизиться к пониманию и реконструкции верований исчезнувших кочевых сообществ, в том числе и на территории Сибири, понять и оценить наследие древнего мультикультурализма. Но это уже, как говорится, совсем другая история.

Район Пудун в Шанхае, самом большом по числу населения городе мира, который одновременно является и крупнейшим морским портом. Здесь на набережной, чем-то напоминающей Гонконг, вечером празднично и многолюдно





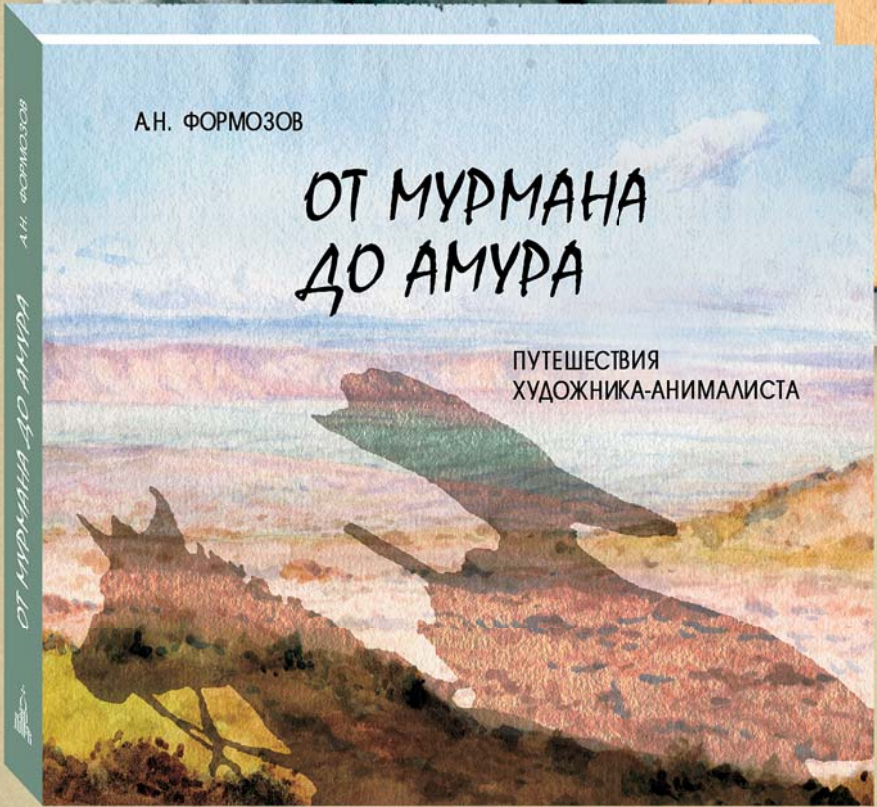
то мурман ба мураганим на мурмане,
 муна добура до доми. Я уде втернеу в
 ворон.

летит быстрее, но похмелье
 в моем теле - (всё встает
 похмелье на ^{очень} ~~хорошо~~ ^{хорошо} ~~хорошо~~)
 и упрям. Стоит, стоит.
 - и теперь улетит другим в
 адема и ветра улетит
 на до мурман и интереса
 мурман от мурман на мурман
 верит, что мурман

А.Н. ФОРМОЗОВ

Душе
 и
 мурман
 верит
 му:

А. Формозов, - 85
 Амурская Зоологическая
 Экспедиция Академии
 Наук
 С.С.С.Р.
 1928.



А.Н. ФОРМОЗОВ

ОТ МУРМАНА ДО АМУРА

ПУТЕШЕСТВИЯ
ХУДОЖНИКА-АНИМАЛИСТА

А. Н. Формозов «От Мурмана до Амуре. Путешествия художника-анималиста». Издательство «ДАРЬ», 2018 г. ISBN 978-5-485-00590-0

На фото – А. Н. Формозов, 1929 г. Записная книжка и страница письма А. Н. Формозова

Рисунок сверху справа А. Н. Формозова
 Рисунок на обложке книги А. Н. Формозовой



«Абсолютный глаз В ПРИРОДЕ»

Вышедшая в 2018 г. книга «От Мурмана до Амура. Путешествия художника-анималиста» – первый изданный альбом Александра Николаевича Формозова (1899–1973), известного зоолога, эколога, защитника природы. А. Н. Формозов был замечательным писателем-натуралистом и первоклассным художником-анималистом. Его научно-популярные книги «Спутник следопыта», «Шесть дней в лесах», «Среди природы» выдержали много изданий и хорошо известны. В книге более 500 иллюстраций, большая часть которых публикуется впервые. Рисунки сопровождают цитаты из дневников, писем и работ Формозова. Комментарии и предисловие подготовлены сыном автора – Н. А. Формозовым. О вышедшей книге рассказывает младший коллега А. Н. Формозова, орнитолог и художник-анималист Евгений Коблик

Для российских любителей природы, биологов, экологов, Александр Николаевич Формозов в представлении не нуждается. Буквально как русская литература выросла из гоголевской «Шинели», так и несколько поколений натуралистов и полевых исследователей выросли на его много раз переиздававшихся книгах. Конечно, у нас были и Бианки, и Пришвин, и Соколов-Микитов – чудесные певцы родной природы, тонкие стилисты и лирики! Но ведь Александр Николаевич был не только писателем-натуралистом, но и профессиональным ученым-зоологом, много преподававшим, публиковавшим глубокие и точные научные статьи. А главное – он был замечательным художником-анималистом, и в этой ипостаси известен никак не меньше, чем в писательской и научной, а, наоборот, и больше! Впрочем, как разорвать великолепную триаду талантов, столь счастливо совместившуюся в одном человеке – ученого-зоолога, писателя-популяризатора и художника-натуралиста! Для того, чтобы словесное творчество Виталия Бианки или Ивана Соколова-Микитова заиграло всеми красками, требовались иллюстраторы – блестящие Евгений Чарушин или Георгий Никольский. Александру Формозову это не требовалось – он сам иллюстрировал свои тексты, и тут уж между писателем и художником не возникало разногласий.



КОБЛИК Евгений Александрович – российский орнитолог и биогеограф, старший научный сотрудник сектора орнитологии Зоологического музея МГУ, кандидат биологических наук. По-совместительству художник-анималист, телеведущий, путешественник, автор бардовских песен. Автор и соавтор 370 научных и научно-популярных публикаций, в том числе 25 книг

Ключевые слова: история зоологии, анималистическое искусство.

Key words: history of zoology, animal painting

© Е. А. Коблик, 2018



Страницы из дневника за декабрь 1914 г.



Александр Формозов, выпускник гимназии.
Весна 1917



Соредакторы «Любителя природы»,
однокурсники Формозова, —
Н. Н. Зарудин (1899–1938)
и И. К. Алексеев (1899–1950-е)

4

Сохранился его первый блокнот 1910 года. И хотя А.Н.Ф. часто повторял, что умение рисовать развил исключительно тренировкой и трудолюбием, уже по первой записной книжке видно, что мальчик рисует гораздо увереннее, чем пишет.

С 1914 по 1923 год Шура вел подробные дневники наблюдений, сопровождая записи многочисленными зарисовками пером и карандашами. Всего в 8 тетрадях дневников за эти годы около 1200 рисунков. Записи А.Н.Ф. вел всю жизнь, но с годами рисунков в дневниках становится все меньше. Он все больше рисует на отдельных листах. Начиная с 1930 года в экспедициях он по-прежнему ведет дневники, но на охоте в Костромской, Вологодской и Кировской областях и на даче в Московской области делает записи на отдельных листках и хранит их в конвертах по темам («Белка», «Снег», «Рябчик» и т.д.).

В 1909 Шура Формозов поступил в 1-ю Нижегородскую гимназию. Среди его соучеников Николай Зарудин, поэт, будущий глава литературной группы «Перевал», погибший в годы большого террора. Формозов вместе с Зарудиным и Иваном Алексеевым выпускал рукописный журнал «Любитель природы». Вышло не менее 7 номеров, все они проиллюстрированы Формозовым. А.Н.Ф. закончил гимназию в романтическую весну 1917 года. Незадолго до окончания его однокашники успели выпустить несколько номеров «Журнала кружка 8-ых классов Нижегородской первой гимназии», отпечатанных в настоящей типографии. Странно выглядит в чудом сохранившемся номере первая печатная статья Формозова «Малая кукушка (*Cuculus intermedius*)» (так в те далекие времена называлась глухая кукушка) по соседству с пылким очерком Н. Зарудина «Памяти К. Р.» (поэта и великого князя).

Казалось бы, дальнейший путь Шуры Формозова не должен ни у кого вызывать сомнения, однако Николай Еллидифорович имел вполне определенный взгляд на то, что такое достойная карьера, и по его настоянию любимый сын, дабы стать инженером, поступил на химическое отделение эвакуированного

Книга «От Мурмана до Амура. Путешествия художника-анималиста» – в первую очередь раскрытие художественного дара Александра Николаевича. Причем не только анималистического! А пейзажи? А веточки-листочки-грибы-погрызы-поеди? А жанровые сценки, этнографические наброски и многое-многое другое? Воистину надо брать шире – не только анималист, а настоящий «художник-натуралист».

Книга построена в биографическом ключе – как дневник о путешествиях. Предисловие погружает

читателя в атмосферу, в которой формировался будущий летописец природы. Странички из первых дневников, ранние наброски, старинные фотографии из семейного альбома и из экспедиционных странствий. А дальше – в хронологическо-географическом порядке – Мурман и Шарья, Монголия, Приморье и Амур. Минимум текста, рисунки, рисунки, рисунки, говорящие об этих краях больше, чем слова. Больше всего полевых набросков, лаконичных, но очень точных – жанр, в котором почти разучились работать нынешние



Обложка 4-го номера «Любителя природы» с рисунком Формозова



Разворот «Любителя природы» с иллюстрациями А.Н.Ф. и статьей В. Васина «Из наблюдений (кое-что о сороках)»

в Нижний Новгород Варшавского политехнического института. Неизвестно, как бы сложилась судьба А.Н.Ф., если бы не Гражданская война. В самом конце 1918 года Формозова призвали в РККА. О том, что ему пришлось пережить, мной написан очерк «Русский натуралист на Гражданской войне» («Охотничьи просторы», 1998. кн. 1, с. 202–226.). А.Н.Ф. пять или шесть раз был на волосок от смерти — попал в плен во время Мамонтовского прорыва, у него на глазах повесили друга, он видел, как копают себе могилы приговоренные к расстрелу, его гнали «маршем смерти» влбуть «тихого Дона», всех отступающих пристреливали... Зимой 1919 года он заболел тифом, и во время спешного отступления деникинцев его бросили вместе с другими больными на разбитой железнодорожной станции на «ничьей земле», где не было ни белых, ни красных. Стало понятно, что оставаться там — верная смерть. Отец выбрал, как ему показалось, промежуток между приступами и рано утром оправился в путь к ближайшему хутору. Он шел целый день, стемнело, начался приступ возвратного тифа, он считал, что сбился с дороги... упал на снег и молился, вставал, шел и снова упал. И вдруг петух... пропел петух. Нет, он не заблудился, охотничья сметка не подвела! Он вышел абсолютно правильно туда, куда шел, только сил у него было мало, и он не рассчитал, что будет идти так долго. В первом же доме, куда он постучал, ему открыли дверь... и его там выходили и спасли. Фамилия его спасителей — Губаревы, жили они в хуторе Синегорском станицы Екатерининской области войска Донского.

Полтора года родители А.Н.Ф. не знали ничего о его судьбе, и, когда он вернулся с фронта, вопрос о своей будущей специальности уже решал сам — восстановился на биологическом факультете Нижегородского университета.

И до, и после Гражданской войны летом Формозов подрабатывал в изыскательской партии Министерства путей сообщения на брандвахте, картировавшей фарватер Волги, Сухоны и Северной Двины. Многочисленные рисунки из этих путешествий еще ждут публикации.



Бывший красноармеец А. Формозов. 1920

анималисты! Есть и настоящие картины. Черно-белая графика, простые и цветные карандаши, акварель. Пожелтевшая фактурная бумага рисунков и в тон ей выдержки из полевых дневников Александра Николаевича на таких же желтоватых планках — переключка авторских строчек и изображений. А комментарии составителя (сына Николая Александровича Формозова) и подписи под рисунками — на белом фоне. Решение очень изящное и продуманное. Впрочем, как изящна и красива и сама книга, ее дизайн, альбомный формат,

Разворот из книги А.Н. Формозова «От Мурмана до Амура. Путешествия художника-анималиста»

ПРИМОРЬЕ И АМУР

(экспедиция АН СССР на Дальний Восток в 1928 году)



Одна из самых нарядных дальневосточных птиц — желтогорлая овсянка. Даже по-латыни она зовется *Emberiza elegans*, что значит «овсянка элегантная»

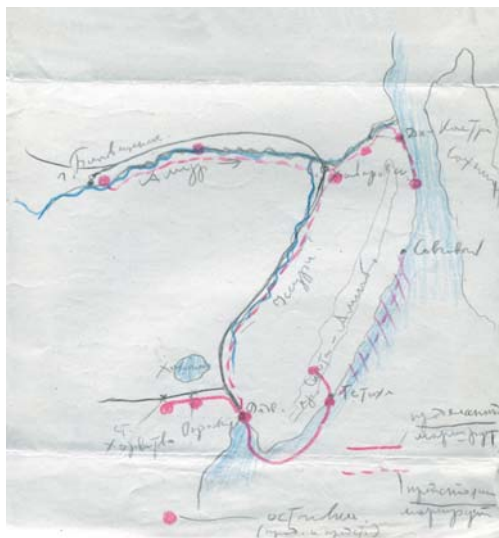
210

Летом 1928 года А.Н. Формозов был включен в один из отрядов Амурской экспедиции Академии наук в качестве специалиста по млекопитающим. Это была его уже вторая академическая экспедиция. Первая — Монгольская — дала обильный урожай публикаций: научно-популярную книгу «В Монголии», фундаментальную сводку о зверях этой страны и несколько статей в ведущих иностранных и отечественных журналах. Вторая же, Амурская, в творчестве Формозова почти не оставила следов. При жизни автора были опубликованы лишь два научно-популярных очерка: «Путевые заметки (из окна поезда Москва — Владивосток)» и «Страна гималайского медведя, амурского тигра и непальской куницы» в журнале «Юный натуралист». Глава «На Нижнем Амуре» из книги «Записки натуралиста» осталась в набросках, ее реконструкцию подготовил и опубликовал в сборнике «Среди природы» старший сын Александра Николаевича, археолог А.А. Формозов. В письмах Александр Николаевич назвал поездку на Дальний Восток «вторым университетом за экспедиционный счет». Его спутником был замечательный, тогда еще очень молодой орнитолог Леонид Михайлович Шульпин (1905–1942). Для Шульпина это был уже третий завершающий сезон на Дальнем Востоке. Это было и удачей, и трудностью для Формозова. С одной стороны, благодаря общению с Леной, как Формозов звал Шульпина, ему удалось быстро освоить абсолютно новую для него фауну птиц, приведенные в дневнике оригинальные словесные расшифровки птичьих голосов (например, ширококрылая кукушка — «по-берешь — по-берешь, по-берешь», все повышая тон; малая кукушка — «пощечинку дам»), скорее всего, принадлежат Шульпину. Но с другой — Леонид был заинтересован в том, чтобы добрать материал по тем районам, где еще не был, объехать за один сезон как можно больше — это мешало привычной для такого натуралиста, как Формозов, вдумчивой стационарной работе. Расстались Формозов и Шульпин близкими друзьями, их сближали и сходные научные интересы, и любовь к природе, и общее чувство юмора. Безвременная гибель командира минометной роты Л.М. Шульпина в марте 1942 года на Ленинградском фронте была огромной потерей для нашей науки. К 35 годам он был автором и первого учебника по орнитологии, и первой монографии по птицам Дальнего Востока.

качество полиграфии. И интригующая обложка с тенью конного исследователя на фоне монгольского пейзажа, идея и воплощение которой стали плодом труда трех поколений Формозовых!

Кстати, фирменный «формозовский» стиль узнается сразу, но большинство рисунков незнакомы! Даже тем, кто еще в детстве зачитывался «Спутником следопыта» или «Шестью днями в лесах»! Ведь там были в основном графические иллюстрации. И действительно, большинство работ опубликовано впервые. Так что

сюрпризы ожидают всех, кто рассматривает эту книгу: и давних ценителей творчества А.Н. Формозова, и тех, кто впервые открывает для себя этого замечательного человека. Повесть в рисунках и дневниковых записях заканчивается 1940-ми годами, и мы искренне надеемся, что за первой книгой последуют следующие. Желаем Николаю Александровичу Формозову и всем, кто работал над этим замечательным изданием, продолжить серию дальше.



План путешествия



Китаец, который несет мой багаж с вокзала. Китаец называется здесь — «ходя» или «логул(и)ка», потому что на спине у него рогоулька для укладки вещей, когда работы нет, на ней удобно сидеть

Первый разворот главы «Приморье и Амур» из книги А. Н. Формозова «От Мурмана до Амура. Путешествия художника-анималиста»

Научно-популярные книги А. Н. Формозова «Спутник следопыта», «Шесть дней в лесах», «Среди природы» выдержали много изданий и хорошо известны. Вместе с тем огромное художественное наследие Формозова до сих пор не было опубликовано. Вышедшая в 2018 г. книга – первый изданный альбом А. Н. Формозова. В нем собраны иллюстрированные рассказы о его путешествиях на Мурман в 1927 и 1929 гг., в Монголию в 1926 г., в Приморье и на Амур в 1928 г. и о работе в тайге Шарьинского района Костромской области в 1930—1940 гг. В книге более 500 иллюстраций, большая часть которых публикуется впервые. Рисунки сопровождают цитаты из дневников, писем и работ Формозова.

Комментарии и предисловие подготовлены сыном автора, Н. А. Формозовым, с большим тщанием и любовью.

Среди пейзажей, портретов животных, рисунков следов их жизнедеятельности немало и этнографических зарисовок: поморских ёл, гиляцких божков, монгольских предметов быта. Книга включила около трети художественного архива автора.

Коллеги А. Н. Формозова говорили, что у него «абсолютный глаз в природе», о его наблюдательности ходили легенды. Это был его главный и самый уникальный талант. Но этот дар дополняли еще два: умение замечательно рассказать об увиденном и талант художника, умение изобразить. Художественное творчество и научная работа сочетались у А. Н. Ф. очень органично. Там, где необходимо, он всегда щедро иллюстрировал свои статьи и книги. Но изобразительное искусство было для Формозова куда большим, чем ремесло иллюстратора. Это был один из его способов общения с природой. Он пропускал через себя красоту и запечатлевал ее. А. Н. Формозов писал: «Мне даже в голову не приходила мысль, что человеческое творчество, описывающее природу, можно любить так же, как и саму природу. Без первого обойдусь, без второго – никак...». Природа для Формозова всегда оставалась лучшим лекарем и другом, способным прийти на помощь, вернуть силы даже в самые темные времена.

Кто же несет? Н. А. Формозов, сын А. Н. Формозова
 Приморье, Амур, Монголия, Мурманск
 Тора, «ходя» ступа
 Прощай мир!
 Сын

173

МУРМАН, 1927



Вид на горло Кольского залива и вход в Екатерининскую гавань с горы Вестник. Чижевский маяк, о-в Седловатый и т.д. Август 1927

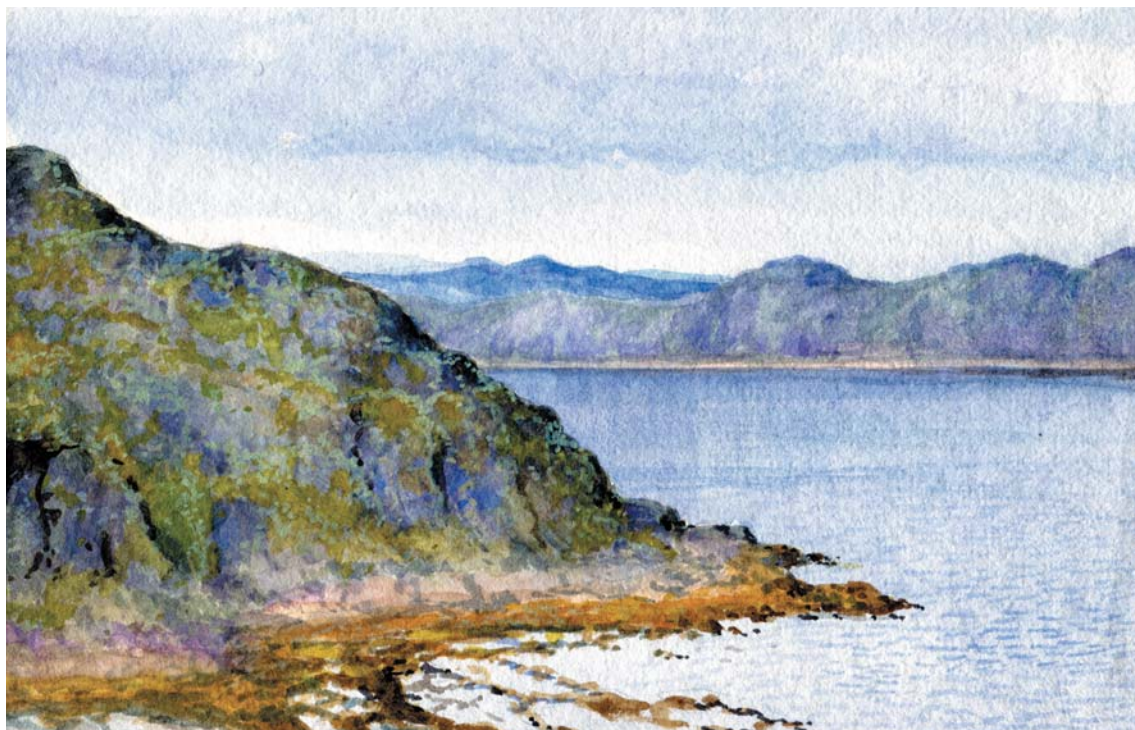
Старое поморское слово «губа» означает то же, что и норвежское слово «фиорд», но если я скажу вам: мы едем в Пала-губу, — это прозвучит, пожалуй, и менее выразительно, и более скромно, чем Пала-фиорд. Впрочем, неважно; это окруженное горами покойное и затихшее, как лесное озеро, пространство вод вряд ли нуждается в особо звучных наименованиях. Там самая лучшая литораль из всех имеющихся близ Мурманской биологической станции, самая богатая обнажающаяся при отливе прибрежная полоса, на которой под камнями и в скользких водорослях прячутся морские звезды и крабы, быстрые, тонкие, как змейки, литоральные рыбки-маслюки, тысячи бокоплавов, мелкие актинии, целые грозди мидий и другие моллюски, то в виде крышечек, то в виде тарелок — вся та живность, какую смотрят, ловят, разводят и изучают студенты, приезжающие сюда со всех концов страны.

14

Первый разворот главы
«Мурман, 1927» из книги
А. Н. Формозова
«От Мурмана до Амура.
Путешествия
художника-анималиста»

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ

Рисунки из четырех регионов – Монголии, Мурмана, Дальнего Востока и Шарьинского района Костромской области – составляют основу данной книги, и большинство из них публикуется впервые. Одну из своих научно-популярных работ отец хотел назвать «От Мурмана до Каспия». Заглавие этого первого альбома рисунков А. Н. Формозова – память о том неосуществленном проекте. Последовательность глав-путешествий выстроена не в хронологическом порядке, а по географии – с северо-запада на юго-восток.



Екатерининская гавань у Мурманской биологической станции

А какая морошка по берегам, как густо растет темно-синяя черника и сизая голубика среди мелких пахучих кочек, перемежающихся со скалами, пестрыми от лишайников, и болотцами, снежно-белыми от хохолков пушицы! Всякий отправляющийся в Пала-губу на литораль возвращается не только с банками, переполненными медленно копошащейся живой добычей, но и с губами, синими от ягодного сока. Но не за морошкой, не за водной живностью приплыл я в Пала-губу.

Формозов был художником-самоучкой. Первые уроки правильного обращения с акварелью он получил только в 1922—1923 гг. от В. А. Ватагина. Тогда же М. Д. Езучевский научил его работать с пастелью. Но пастель оказалась очень неподходящей техникой для полевых условий. В монгольскую экспедицию 1926 г. А. Н. Формозов еще возил с собой громоздкий ящик пастельных мелков. По-видимому, единственная пастель, привезенная из этой поездки, была последней работой в этой технике,

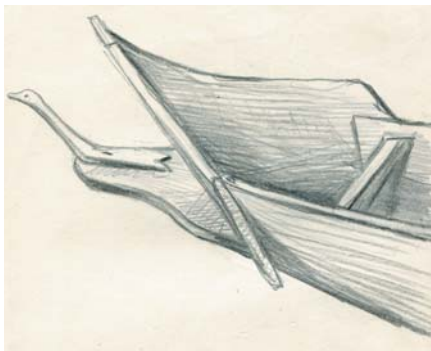
выполненной им на природе. Постепенно он отказывался и от акварели (если на полевые сезоны 1926 и 1927 гг. приходится 31 акварельная работа, то на два следующих года – только 7). На моей памяти он в поездки и походы на природу акварельные краски уже никогда не брал. С годами у него выработалась собственная техника рисунка в полевых условиях. Он использовал цветные карандаши или чаще только черный карандаш, который называл «негро». Карандаши путешествовали в продолговатом берестяном

26 июля 1928. Путешественники спустились по Амуру в село Мариинское. Там была надежда найти проводника для поездки по озеру Кизи, откуда можно попасть в залив Де-Кастри, перейдя всего 20 верст через тайгу по хорошей тропе.

Сейчас пишу на реке Амуре в тупоносой, тупозадой лодке, трое туземцев-ольчей (ольчи — одно из племен гольдов) увозят нас вниз к селу Мариинскому. Везут нас старик, местный туземный учитель, и пара: ольча Чукго с женой. Ее зовут «Санькой», как это ни странно, туземного имени у нее нет, то есть она из числа насильно крещеных миссионерами. Чукго — пожилой человек в синей рубашке, черных штанах, туземных сапогах. На голове повязка из грязной тряпки, из-под нее свисает на спину косичка и выбиваются на уши пряди выцветших волос. Санька очень молода, ей, пожалуй, 20; она маленького роста, лицо совершенно круглое и такое скуластое, просто диву даешься. Нос очень маленький, прямой, глаза — прямые черточки, нижняя губа слегка выпячена вперед, наверное, от привычки держать во рту неразлучную трубку, вроде монгольской только покороче. «Наш постоянно кури, ваш — кури нету», — говорит она. У нее огромные черные косы с отливом красной меди и очаровательная улыбка, от которой глаза совершенно исчезают и на бронзовой тарелке лица сверкают под трубкой только зубы. Одета она в новый синий халат-рубашку с красными краями и рукавами до локтя черно-белыми, в ушах — серебряные кольца, на руках браслеты, на ногах небольшие остроносые «калоши» и какие-то обмотки. Гребет она рядом с мужем, впереди сидит учитель, я правлю рулем.



Гилячка Асюшкá Унакá. С. Мариинское. 14 августа 1928



Из Софийского одновременно с нами выехал гиляцкий свадебный кортеж: две лодки, на одной из которых устроен был род палатки. Снаружи на палатке лежали новые одежды, вычурные плетеные корзинки и другие вещи, должно быть, приданое. В палатке лежала невеста — девчонка лет 15–17 в ярко-синем халате с красным кантом понизу и множеством медных побрякушек. Была в числе провожающих одна шаманка — старуха в красном платке, и женщина в туземной берестяной шляпе.

Госа — фигурка утки на носу гиляцкой лодки.
Стойбище Хованда близ Мариинского на Амуре. 27 июля 1928

230

туеске, сплетенном по заказу отца в Киселево. Рисую, папа высыпал карандаши в фуражку, а под бумагу подкладывал специальную гладкую фанерку по размеру полевой сумки. Зоологический рисунок был неотъемлемой частью научного творчества Формозова. Собственно, и стал А. Н. Формозов широко известен как ученый благодаря своим рисункам. Его книга «Спутник следопыта» вся построена на иллюстрациях (в последнем 8-м издании их 370). В 1930—1940-е гг. юные биологи росли, читая «Спутник»,

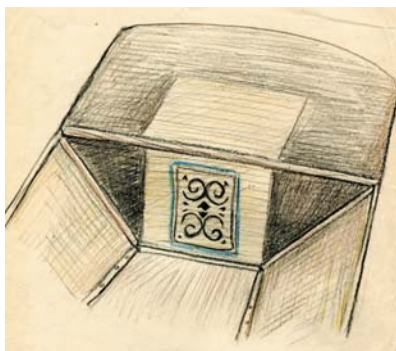
и поступали в Московский государственный университет, чтобы учиться у Формозова. Рисунки сделали его кумиром нескольких поколений московских студентов. А. Н. Ф. преподавал на биологическом факультете МГУ с 1930 по 1956 г. В то время не было ни красочных определителей, ни диапозитивов, ни хороших проекторов. Многие из представленных в этой книге рисунков служили иллюстрациями к лекциям Александра Николаевича. Они подчинены целям педагогики: например, среди портретов птиц преобладают



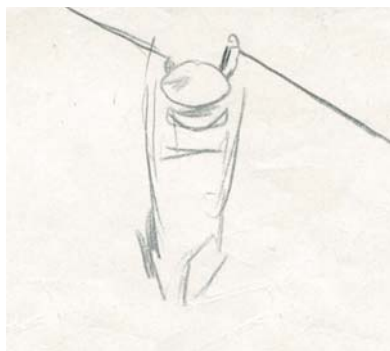
Гилячка у лодки



Гиляцкая лодка. Орнамент кормы с внутренней стороны



Гиляцкая лодка. Орнамент носовой части с внутренней стороны.
С. Маринское. 15 августа 1928



Набросок, как нанайцы гребут попеременно то правым, то левым веслом

231

профильные, так лучше видны и запоминаются определяющие признаки. Перед каждой лекцией А. Н. Ф. раскладывал множество рисунков на передних столах аудитории. Часто и рисовал во время лекций. Когда вдруг после нескольких штрихов мела на доске появляется портрет зверька, заблестит его живой глаз, у присутствующих остается ощущение чуда. После лекции студенты собирались вокруг передних столов, рассматривали рисунки, Формозов давал пояснения. Можно догадаться, какой след в душах будущих зоологов оставляло природное многоцветье формозовских рисунков в те почти монохромные времена. Ученик Формозова, замечательный зоолог и художник-анималист Владимир

Разворот главы «Приморье и Амур» из книги А. Н. Формозова «От Мурмана до Амура. Путешествия художника-анималиста»



Верхняя метка на пихте на высоте 180–215 см.
Отмечена «х» на рисунке справа

19 июля. Наутро отправились в тайгу, в медвежий владения. Михайлы Ивановичи натоптали везде тропы, разворочали пни, перевернули камни в поисках муравьев и личинок, а в одном месте нашел пихту, основательно исцарапанную когтями медведя. Внизу и сверху кора ободрана когтями передних лап. На дереве заплывшие прежние царапины, недавние незажившие царапины и совершенно свежие, из последних прозрачными каплями вниз стекает смола. В переводе на русский эта метка значит: «Это место мое! Незаконно вторгшиеся, полюбуйтесь, какие у меня когти...» Я слышал лишь раз, как один ворочал в стороне камни, да на Шульпина у вершины сопки другой рывкнул несколько раз с перепуга. Если их бояться, то работать здесь совсем нельзя. Конечно, в одном стволе ружья все время лежит разрывная пуля, а два других патрона хранятся особо в наружном кармане для моментального доставания в случае надобности.

Говорят, что здесь в низовьях Амура, после гражданской войны, попробовав падали и человечины, медведи стали более опасны. Но тот (или те), что держатся у Софийского, судя по следам, совершенно травоядны. Помет — расплывшаяся куча темно-бурого цвета из растительных остатков. На бревнышках, лежащих на высоте 3/4 аршина над тропой, — следы когтей, среди папоротников и высоких зонтичных и злаков на полянах медведь намял целые тропы, колоды и пни разворочены так, что обнажилась красная гнилая древесина.



Расположение меток на пихте

Медвежий след на поваленной ольхе.
Село Софийское



228

Моисеевич Смирин, писал, что «совмещать научную работу и серьезное рисование необычайно трудно, и Александр Николаевич временами очень страдал от этого». Я с этим не согласен. Первая половина фразы относится в первую очередь к самому В. М. Смирину. Он, человек ранимый, сомневающийся, действительно с трудом и мучениями всю жизнь искал баланс между наукой и искусством. Вторая же часть фразы просто неверна. Художественное творчество и научная работа сочетались у А. Н. Ф. очень органично.

Он всегда щедро иллюстрировал свои статьи и книги. Но изобразительное искусство было для Формозова куда большим, чем ремесло иллюстратора. Я бы сказал, что это был один из его способов общения с природой. Он пропустил через себя красоту и запечатлевал ее.

А. Н. Ф. рисовал почти всю жизнь, 62 года из 74 прожитых лет. Последний его набросок датирован 23 декабря 1972 г., за год (без одного дня) до его смерти.

Н. А. Формозов, зоолог, Центр охраны дикой природы



Енотовидная собака — типична для дальневосточной фауны. У этого коротконового и небыстрого зверя есть удивительная особенность поведения — при неожиданном появлении крупного хищника или человека енотовидная собака притворяется мертвой



«Енотовидной» эту представительницу семейства Собачьих назвали из-за черной маски на морде, напоминающей окраску североамериканских енотов. На Дальнем Востоке ее для удобства зовут «еноткой», или просто «енотом»

229

Литература

Формозов А. Н. В Монголии: Очерк путешествия зоологического отряда Монгольской экспедиции Академии наук СССР. М.; Л.: Госиздат, 1928. 152 с. (Библиотека для детей старшего возраста).

Формозов А. Н. Амурская зоологическая экспедиция Академии Наук СССР. 1928 г.

Формозов А. Н. Шесть дней в лесах. М.: МОИП, 1948.

Формозов А. Н. Спутник следопыта / Рисунки автора. М.; Л.: Детгиз, 1943. 200 с.

Разворот главы «Приморье и Амур» из книги А. Н. Формозова «От Мурмана до Амура. Путешествия художника-анималиста»

Формозов А. Н. Среди природы. 2-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 288 с.; 3-е изд. Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс, 1997. 256 с.: ил.

Формозов А. Н. От Мурмана до Амура: Путешествия художника-анималиста. М.: Дарь, 2018. 252 с.

ПОДПИСКА

На сайте журнала «НАУКА из первых рук» www.scfh.ru Вы можете:

● **Оформить подписку на печатную версию журнала**

3 номера печатной версии журнала, первое полугодие 2019 г. – 1050 руб.

В стоимость подписки включена доставка журнала заказной бандеролью.

Оригиналы бухгалтерских документов для юридических лиц (договор, счет-фактура и накладная) будут высланы Вам почтой

● **Купить отдельные выпуски печатной версии журнала «НАУКА из первых рук»**

Печатные выпуски журнала доставляются по почте

● **Способы оплаты**

Электронные платежи: через систему приема платежей Робокасса (банковскими картами, с помощью сервисов мобильной коммерции – МТС, Мегафон, Билайн, через интернет-банк ведущих банков РФ, через банкоматы и т. д.)

С помощью квитанции: после оформления заказа Вам будет выслана квитанция ПД-4 для оплаты заказа в ближайшем отделении Вашего Банка

По адресу <https://scfh.ru/en/> Вы можете получить электронный доступ к англоязычной версии журнала SCIENCE First Hand

● **По всем вопросам обращаться:**

*Тел.: 8 (383) 330-27-22
Факс: 8 (383) 330-27-22
e-mail: zakaz@info-press.ru*

● **Платежные реквизиты:**

*ООО «ИНФОЛИО»
ИНН 5408148073, КПП 540801001
Р/счет 407 02 810 523 120 001 110
в Филиале «Новосибирский»
АО «АЛЬФА-БАНК»,
г. Новосибирск
Кор/счет 30101810600000000774
БИК 045004774*

● **Оформить подписку на электронную версию журнала (PDF)**

3 номера электронной версии журнала (PDF), первое полугодие 2019 г. – 350 руб.

6 номеров электронной версии журнала (PDF), 2019 г. – 700 руб.

Оплаченный номер электронной версии журнала (PDF) Вы получаете сразу после выхода очередного номера на указанный Вами адрес электронной почты

● **Купить отдельные выпуски электронной версии журнала «НАУКА из первых рук» (PDF)**

● **Получить электронный доступ**

к статье за 50 руб.,
ко всем статьям на сайте журнала:
на 1 мес. за 1000 руб.

При покупке электронного доступа Вы получаете возможность читать статьи сразу после успешной оплаты

Стоимость подписки
на 2019 г. – 2100 руб.

● **Подписаться на электронную версию и купить отдельные номера журнала Вы можете также:**

ЛитРес: www.litres.ru

*Научная электронная библиотека:
www.e-library.ru*

Пресса.ру: www.pressa.ru

В стоимость подписки включена доставка журналов заказной бандеролью

В мире науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Ежемесячный
научно-
информационный
журнал

www.sci-ru.org

№ 12 2018

Темы номера

Неразрешимая задача

Исследования показывают, что задачу первоочередной для физики важности решить невозможно, — а это означает, что и другие фундаментальные вопросы, вероятно, тоже не имеют решения.

СПЕЦРЕПОРТАЖ: СОСТОЯНИЕ МИРОВОЙ НАУКИ — 2018 Как поддержать науку

Положение научно обоснованного мышления в современном мире вызывает серьезную обеспокоенность. Необходимы повышение качества образования, разъяснительная работа, политические реформы, и в то же время наука должна решать внутренние проблемы.

Пуск, ложь и видео

Любой из нас сегодня способен манипулировать аудио- и видеoinформацией. Это положение вещей представляет собой страшную угрозу человеческому доверию.

Бешенство в мозге

С помощью модифицированных форм вируса бешенства ученые могут очень точно проследить нервные пути.

Землетрясения в небе

Самое раннее оповещение о крупном стихийном бедствии может наблюдаться на высоте 290 км над Землей.

Путь к спасению

Эвакуировать целый город в преддверии урагана практически невозможно. Однако новые карты рисков способны указать, кому именно необходимо бежать, чтобы спастись.



Хотите знать о науке больше?

Полный архив выпусков журнала «В мире науки» —
на сайте издания по адресу:

<https://sciam.ru/catalog>

В мире
науки

SCIENTIFIC
AMERICAN

Архив



Работы в Денисовой пещере, Горный Алтай. Фото С. Зеленского

