

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

6

6⁽³⁶⁾
● 2010



КРАСОТА УМУ
НЕ ПОМЕХА

ЧТО ТАКОЕ
КАТАСТРОФЫ

КАМЧАТКА
ЗАПОВЕДНАЯ

КЛИМАТ
ВО ВРЕМЕНИ
И ПРОСТРАНСТВЕ

ISSN 18-10-3960

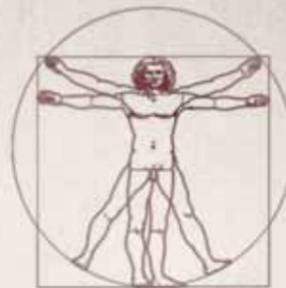


Геомотор
двигатель
катастроф

НАУКА из ПЕРВЫХ РУК

№ 6 (36) 2010

Познавательный журнал
для хороших людей



Редакционная коллегия

главный редактор
акад. Н.Л. Добрецов

заместитель главного редактора
акад. В.В. Власов

заместитель главного редактора
акад. В.Ф. Шабанов

ответственный секретарь
Л.М. Панфилова

акад. М.А. Грачев

акад. А.П. Деревянко

чл.-кор. А.В. Латышев

чл.-кор. Н.П. Похиленко

акад. М.И. Эпов

к.ф.-м.н. Н.Г. Никулин

Редакционный совет

акад. Л.И. Афтанас

чл.-кор. Б.В. Базаров

чл.-кор. Е.Г. Бережко

акад. В.В. Болдырев

чл.-кор. А.Г. Дегерменджи

д.м.н. М.И. Душкин

проф. Э.Краузе (Германия)

акад. Н.А. Колчанов

акад. А.Э. Конторович

акад. Э.П. Кругляков

акад. М.И. Кузьмин

акад. Г.Н. Кулипанов

д.ф.-м.н. С.С. Кутателадзе

проф. Я. Липковски (Польша)

чл.-кор. Н.З. Ляхов

акад. Б.Г. Михайленко

акад. В.И. Молодин

д.б.н. М.П. Мошкин

чл.-кор. С.В. Нетесов

д.х.н. А.К. Петров

проф. В. Сойфер (США)

чл.-кор. А.М. Федотов

д.ф.-м.н. М.В. Фокин

д.т.н. А.М. Харитонов

чл.-кор. А.М. Шалагин

акад. В.К. Шумный

д.и.н. А.Х. Элерт

«Естественное желание хороших
людей — добывать знание»

Леонардо да Винчи

Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской
академии наук (СО РАН)

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

Институт археологии и этнографии
СО РАН

Лимнологический институт СО РАН

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

Институт химической биологии
и фундаментальной медицины СО РАН

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

ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

Адрес редакции:
630055, Новосибирск,
ул. Мусы Джалиля, 15
Тел.: +7 (383) 332-1540, 332-1448
Факс: +7 (383) 332-1540
e-mail: zakaz@infolio-press.ru
e-mail: editor@infolio-press.ru

www.ScienceFirstHand.ru

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

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

ISSN 1810-3960

Тираж 2 000 экз.

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

Дата выхода в свет 29.12.2010

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2010
© «ИНФОЛИО», 2010

Над номером работали

Л. Беляева
В. Варламова
С. Коротаев

к.ф.-м.н. Д. Майничев
к.б.н. Л. Овчинникова

Л. Панфилова
к.х.н. С. Прокопьев
М. Третьякова
А. Харкевич



Дорогие друзья!

Бытует мнение, что российская наука за последние годы необратимо «постарела». Материалы этого выпуска свидетельствуют – делать такие выводы рано. И сегодня наша молодежь активно работает на самых передовых направлениях науки, получая со стороны общества и государства серьезную поддержку.

В 2010 г. престижными научными премиями был отмечен ряд фундаментальных и прикладных исследований молодых ученых. Среди наиболее важных – выявление общих закономерностей строения кристаллов, помогающих определить свойства вещества и его возможное практическое применение, и разработка диагностической платформы рака молочной железы, позволяющая выявлять опухоль на самой ранней стадии развития, когда она состоит всего из нескольких клеток.

Большое практическое значение имеют и результаты исследований микрофлоры Байкала. Обитающие там уникальные бактерии-нефтедеструкторы, обеспечивающие естественное самоочищение воды, могут стать основой биопрепаратов, способных разрушать нефтяные загрязнения даже при очень низких температурах. Еще одни микроскопические обитатели Байкала и других водоемов Восточной Сибири – цианобактерии, – наоборот, представляют для человека потенциальную угрозу. По рекомендации ВОЗ, во многих странах мира проводится мониторинг питьевой воды и продуктов питания на предмет содержания в них цианотоксинов, выделяемых этими бактериями. В России, однако, стандарты на предельно допустимые концентрации цианотоксинов до сих пор не утверждены.

В этот раз молодые ученые стали также авторами рубрики «Факультет». В основу публикаций легли материалы конкурса научно-популярных статей, объявленного Советом научной молодежи СО РАН в 2010 г. Этот конкурс проводился впервые. Трудно переоценить значение подобных работ в деле популяризации науч-

ных знаний и поднятии престижа исследовательского труда, однако итоги конкурса показали, что задача эта не всем по плечу. Лишь треть авторов, в оценке работ которых принимала участие и наша редакция, смогли изложить свои результаты языком, доступным для широкой аудитории.

На страницах нашего журнала мы не раз обращались к теме природных и техногенных катастроф. Их частота, масштаб разрушений и особенно число человеческих и материальных потерь в последние десятилетия возросли многократно. Причины этого исследователи видят в росте численности населения Земли и развитии мировой экономики, деградации природной среды и изменениях климата. Борьба с катастрофами становится неотъемлемой частью государственной стратегии устойчивого развития. Основные пункты этой стратегии – прогнозирование грозящих опасностей, разумное хозяйственное использование земель, организация превентивных мероприятий.

Конечно, человек не в силах остановить или изменить ход естественных эволюционных изменений климата планеты, но он может научиться предсказывать и смягчать последствия катастроф. Результаты исследований природных условий, существовавших на Земле в далеком прошлом, однозначно говорят о цикличном характере большинства глобальных процессов. На протяжении сотен тысяч лет периоды потепления не раз сменялись периодами похолодания, и наоборот. Не исключено, что уже в ближайшем будущем после глобального потепления нас ждет очередной ледниковый период, который поставит перед человечеством новые проблемы, а перед наукой – новые исследовательские задачи.

академик Н.Л. Добрецов,
главный редактор



.01

Молекула **КУКУРБИТУРИЛА** – отличный строительный блок для **СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**: «сэндвичей», «цепей», «пчелиных сот»... **С. 28**

Радикально улучшить метод **ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ** газовых потоков удалось, применив обычное **СТЕКЛО-ХАМЕЛЕОН**. **С. 36**



НАУКА МОЛОДАЯ

- 6 Стипендия Л'Ореаль–ЮНЕСКО. Красота уму не помеха
- 14 **О. Н. Павлова**
Невидимые защитники Байкала
- 22 **Е. Г. Сорокикова**
Сине-зеленая угроза

.02

ФАКУЛЬТЕТ

- 28 **Е. А. Коваленко**
Кукурбитурил – молекула-тыква
- 36 **М. П. Голубев**
Увидеть невидимое
- 46 **А. С. Якимов**
Погребенные почвы – послание из прошлого
- 54 **Л. В. Ксанфомалити**
Светлые тени

.03

ЧЕЛОВЕК И СРЕДА

- 64 **В. И. Осипов**
Что такое катастрофы и как с ними бороться
- 80 **Н. Л. Добрецов**
Климат во времени и пространстве

КУРГАНЫ хранят не только погребения далеких эпох, но и **ИСТОРИЮ** природной среды в виде «законсервированных» **ДРЕВНИХ ПОЧВ**. **С. 46**

В последнее «жилище» **ТАНЬСКОГО ГЕНЕРАЛ-ГУБЕРНАТОРА** вел вырубленный в твердом грунте дромос — коридор длиной 21 м с арками и нишами. **С. 88**

ФОТОРЕПОРТАЖ о крылатых и четвероногих обитателях старейшего в России **КРОНОЦКОГО ЗАПОВЕДНИКА**. **С. 100**

.04

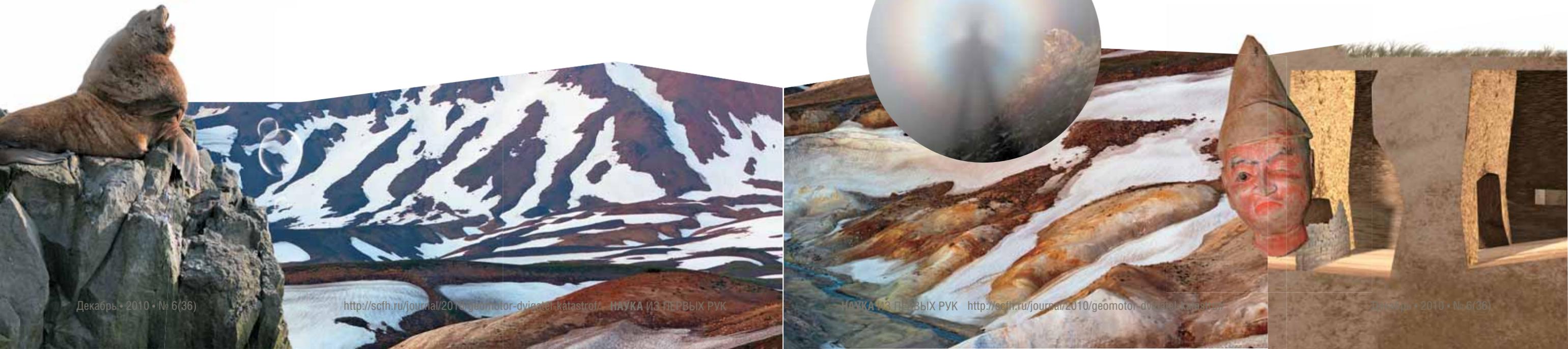
ОТКРЫТИЕ СИБИРИ

- 88 **С. В. Данилов**
Шороон Дов – «земляной бугор»

.05

ЛИЦОМ К ПРИРОДЕ

- 100 **В. И. Мосолов**
Камчатка заповедная.
Фоторепортаж **И. Шпиленка**





Стипендия Л'Ореаль–ЮНЕСКО:

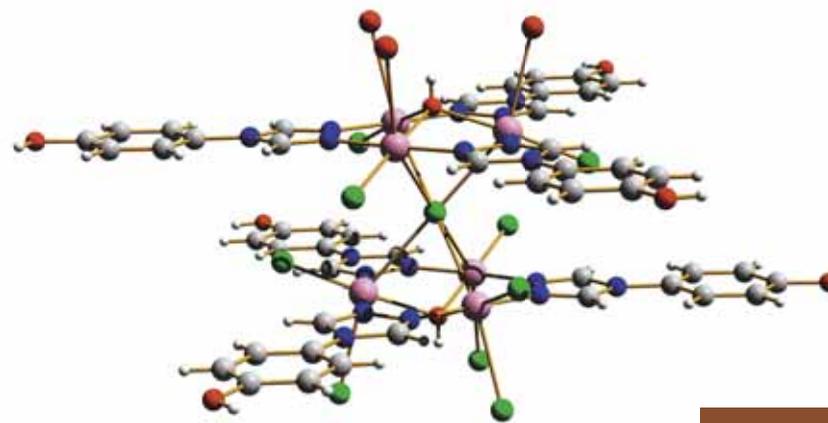
Красота уму не помеха

В День науки, 10 ноября 2010 г., в Москве состоялось очередное вручение национальной стипендии Л'Ореаль–ЮНЕСКО «Для женщин в науке» размером 350 тыс. рублей.

Программа национальных стипендий Л'Ореаль–ЮНЕСКО сегодня работает в 45 странах мира. В России конкурс проводится с 2007 г. при поддержке Российской академии наук. Соискательницами стипендии могут стать женщины-ученые, кандидаты наук в возрасте до 35 лет, работающие в российских научных институтах и вузах по направлениям: физика, химия, медицина и биология. Принять участие в конкурсе на соискание стипендии, в отличие от других конкурсов, просто – достаточно заполнить небольшую анкету.

В 2010 г. на конкурс поступило 400 заявок из разных городов России. Лауреатами были выбраны десять участниц. Все они – состоявшиеся ученые, известные специалисты в своих областях, руководители научных групп и лабораторий.

На этот раз достойную конкуренцию Москве составили научные учреждения Сибирского отделения РАН: четыре победительницы из десяти работают в Новосибирском научном центре СО РАН. Сегодня мы представляем читателям двух сибирячек: специалиста в области рентгеноструктурного анализа Евгению Пересыпкину, получившую по оценке жюри самый высокий рейтинг среди участников программы, и Светлану Тамкович, участвующую в разработке перспективных методов диагностики онкозаболеваний



Кристаллохимическая мозаика

Основная задача эмпирической кристаллохимии – поиск общих закономерностей строения кристаллов. Такого рода исследования чрезвычайно важны, поскольку большинство твердых тел, которые нас окружают, имеет кристаллическую природу.

В отличие от других форм материи, в кристаллах атомы расположены упорядоченно. Одним из наиболее плодотворных подходов к описанию кристаллического состояния вещества является обобщение имеющихся данных о разнообразии структур кристаллических твердых тел с помощью так называемого *геометрико-топологического анализа*.

Метод заключается в заполнении пространства кристалла без промежутков и перекрытий *полиэдрами* (многогранниками) *Вороного–Дирихле* так, чтобы внутри каждого из них находился атом. Подобное формальное математическое описание кристаллического пространства просто и элегантно позволяет находить закономерности строения различных классов кристаллических веществ. Именно в эту большую и интересную работу еще студенткой Самарского государственного университета включилась Евгения Пересыпкина:

ПЕРЕСЫПКИНА Евгения Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории кристаллохимии Института неорганической химии СО РАН (Новосибирск). Лауреат премии Европейской академии для молодых ученых России (2005); премии им. Ю. Т. Стручкова для молодых ученых за лучшую работу в области рентгеноструктурного анализа (2008); стипендиат национальной стипендии Л'Ореаль–ЮНЕСКО для женщин в науке (2010).
Автор и соавтор 103 научных работ





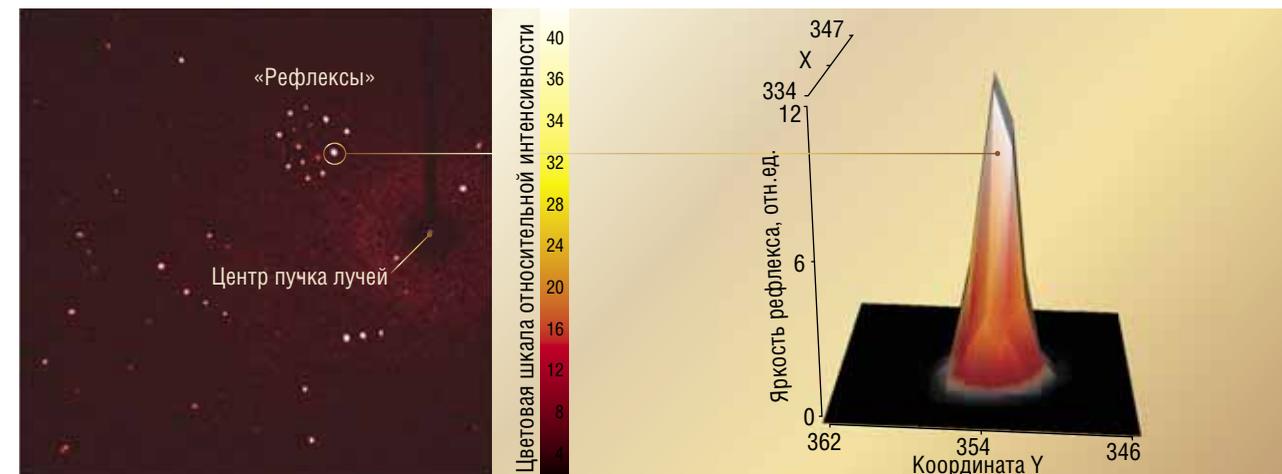
Первая задача – выбрать среди кристаллов один, наиболее подходящий для анализа. Затем его нужно закрепить, например, на нейлоновой нити (толщиной 20 мкм), которая соединяется через специальный держатель с винтом точной регулировки для микрометрового позиционирования



«Мне с самого начала повезло оказаться среди увлеченных людей. Сначала это были родители – кандидаты технических наук, инженеры высокой квалификации, преданные своему делу. Они всю жизнь работали за интерес и на совесть. Потом университет, где пришлось выбирать между “интересно” и “денежно и надежно”. Я, следуя семейной традиции, выбрала первое. На лекциях по квантовой химии профессор В. А. Блатов произвел на меня большое впечатление вдумчивостью, глубиной и оригинальностью рассуждений. В 1996 г. он стал моим научным руководителем. На кафедре неорганической химии, где я оказалась, царил атмосфера научного поиска. Не жалея времени и сил, сотрудники кафедры “возились” со студентами младших курсов, уже на этом этапе привлекая их к серьезной научной работе».

Евгения делала свои первые шаги в науке в условиях, когда единственным способом вести исследования на мировом уровне был уход от затратной экспериментальной науки. Потребовалось создать такие алгоритмы анализа и систематизации кристаллохимических данных, для которых было достаточно только компьютера. В результате под руководством В. А. Блатова, А. П. Шевченко и В. Н. Сережкина был разработан комплекс кристаллохимических программ TOPOS, который сейчас является одним из самых мощных программных продуктов в этой области. Так родилось оригинальное научное направление, в дальнейшем доказавшее свою конкурентоспособность.

Основу кандидатской диссертации Е. В. Пересыпкиной составил анализ *упаковок* (способов взаимного размещения) молекул в кристаллах. В самом начале работы рассматривали лишь *первую координационную сферу* («ближайших соседей», окружающих выбранную центральную молекулу). По мере дальнейшего совершенствования алгоритмов появилась возможность анализировать и дальние координационные сферы. В ходе кропотливой



Рентгеноструктурный анализ кристаллов основывается на дифракции пучка рентгеновских лучей на атомах, упорядоченных в кристаллической решетке. Типичная дифракционная картина (слева) регистрируется при одной из выбранных ориентаций кристалла. Результат отображается в виде множества ярких точек – «рефлексов», образующих упорядоченные зоны. Каждый рефлекс характеризуется своим положением и интенсивностью (справа – трехмерное изображение одного из них). Иногда приходится снимать несколько сотен таких дифракционных картинок при разных положениях кристалла, и только их совокупность дает достаточную информацию для расшифровки кристаллической структуры

работы были изучены 35 тыс. органических и неорганических соединений и найдены интересные закономерности: например, было установлено, что около 90% молекулярных кристаллических структур можно описать достаточно небольшим (не более десятка) числом способов.

За последние семь лет, работая в Институте неорганической химии СО РАН, Е. В. Пересыпкина расширила свой инструментальный диапазон, дополнив багаж теоретических знаний полезными навыками экспериментальной работы в области рентгеноструктурного анализа монокристаллов. В роли объектов исследования выступают кристаллы веществ, синтезированных химиками.

Исследование кристаллической структуры проводится на сложной установке – монокристалльном рентгеновском дифрактометре, принцип работы которого основан на регистрации дифракции рентгеновских лучей при прохождении сквозь кристаллическое вещество. Такой прибор может себе позволить далеко не каждая лаборатория, и только экспериментатор с большим опытом практической работы может грамотно оценить, насколько надежно определяется кристаллическая структура. Если данные о структуре вызывают сомнения, результаты основанного на ней анализа могут оказаться ошибочными.

Работа в этой области, отличаясь большим разнообразием, предъявляет высокие требования к исследователю.

Уже сам поиск пригодного для измерений кристалла – занятие творческое, в котором успеха достигают далеко не все. Нелегко угадать, какую форму должен иметь «правильный» кристалл, найти его среди множества других и обеспечить его сохранность до начала измерений. Нередко кристаллы разлагаются, например, из-за выветривания на воздухе, поэтому всю работу по отбору нужно делать достаточно быстро. Вспомогательные операции требуют умений, схожих с мастерством Левши, подковывающего блоху: нужно поместить крохотный кристаллик размером в десятые доли миллиметра на держатель – хрупкую стеклянную иглу или нейлоновую петлю диаметром в несколько раз тоньше волоса.

Для выбора правильной стратегии эксперимента необходимо хорошо знать кристаллографию – науку, математически описывающую возможные виды симметрии кристаллического вещества. Естественно, что ошибки на любом этапе приводят к тому, что установить структуру синтезированного химиками нового вещества станет невозможно.

По полученным экспериментальным данным, представляющим собой после их математической обработки некую совокупность точек в пространстве, следует расшифровать структуру самого кристалла. Решение головоломки осложняется несколькими факторами. Часть точек – следствие погрешностей эксперимента, их требуется распознать и отбросить. Неизвестно и то,

атому какого именно химического элемента соответствует каждая точка. Наконец, заранее зачастую нельзя сказать, какую структуру предстоит отыскать.

Успех в расшифровке зависит от того, насколько исследователь научился понимать влияние симметрии на структуру кристалла и способен ли он правильно распознавать структурные фрагменты. Совершенно необходимы беспристрастность и непредвзятость, потому что ожидание увидеть желаемое часто мешает найти ответ. Именно поэтому определение кристаллических структур – это каждый раз новый вызов исследователю, ответить на который можно только при наличии достаточной настойчивости и даже, порой, упрямства.

Метод рентгеноструктурного анализа сейчас переживает подлинный расцвет и способствует развитию других разделов химии, которым он дает уникальную информацию о составе и строении только что синтезированных соединений. С другой стороны, каждая расшифрованная структура дает новые фундаментальные данные и для самой кристаллохимии, приближая нас к пониманию строения кристаллов.



Самый ранний диагноз

Первое место среди всех онкологических заболеваний женщин занимает рак молочной железы: ежегодно в мире им заболевает свыше миллиона человек, и эта цифра постоянно растет. Соответственно, неуклонно возрастает и смертность, хотя с помощью современных методов лечения достигается почти стопроцентная выживаемость на первой стадии болезни. Но на сегодняшний день выявление опухолевого процесса на самой ранней стадии является серьезной проблемой: правильный диагноз ставится не более чем в половине случаев. Около 80 % больных сами случайно обнаруживают у себя опухоль, когда она уже достигла значительных размеров.

Современные методы диагностики рака молочной железы делятся на две категории: инструментальные (маммография, УЗИ и томография) и лабораторные. В странах Западной Европы, а также для диагностики заболевания у женщин старше 35 лет, обычно используется маммография, точность которой составляет 80–98 %. Несмотря на высокую эффективность, этот рентгенологический метод не рекомендуется использовать при обследовании молодых женщин и для наблюдения за опухолевым процессом из-за высоких доз облучения. Женщинам до 35 лет рекомендуется проводить обследование груди при помощи УЗИ, однако этим методом удастся визуализировать не все формы злокачественных заболеваний молочных

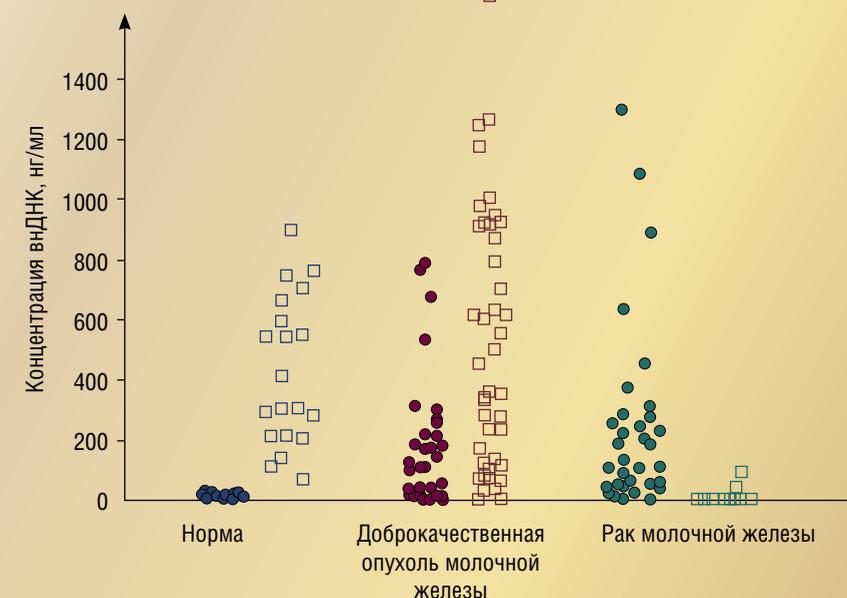
желез, к тому же за патологические структуры иногда принимаются участки жирового перерождения ткани.

Лабораторные иммунохимические и биохимические методы можно использовать лишь при сформировавшейся опухоли, которая секретирует в кровь достаточное количество соответствующих белков-антигенов. Потому эти методы обычно применяют для мониторинга заболевания и оценки эффективности противоопухолевой терапии. Их диагностическую ценность снижает тот факт, что белковые маркеры вообще выявляются лишь у трети онкологических больных, зато в небольших количествах присутствуют в норме, а также при других, не онкологических заболеваниях.

В связи с несовершенством ранней диагностики новообразований молочной железы сегодня интенсивно разрабатываются принципиально новые методические подходы, в том числе базирующиеся на анализе внеклеточных ДНК и РНК.



ТАМКОВИЧ Светлана Николаевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник группы клеточной биологии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Старший преподаватель кафедры молекулярной биологии Новосибирского государственного университета. Стипендиат национальной стипендии Л'Ореаль–ЮНЕСКО для женщин в науке (2010). Автор и соавтор 27 научных публикаций, трех учебно-методических пособий; шести патентов РФ и одного европейского патента



Распределение в крови циркулирующей внеклеточной ДНК у здоровых женщин и женщин с опухолями молочной железы значительно различается. В норме почти вся ДНК адсорбирована на поверхности кровяных клеток. При патологии увеличивается концентрация ДНК в плазме крови. При этом при доброкачественных опухолях концентрация ДНК на поверхности кровяных клеток не отличается от таковой у здоровых женщин, а у больных раком – снижается более чем в 30 раз

● в плазме крови
□ на поверхности кровяных клеток

До недавнего времени считалось, что у высших организмов ДНК локализована исключительно в клеточных структурах – в ядрах клеток и, частично, в митохондриях. В последние годы было установлено, что вне клеток (прежде всего в плазме крови) в норме и при патологиях обнаруживаются внеклеточные нуклеиновые кислоты. Источником их служат клетки различных тканей организма, в том числе опухолевой, гибнущие в результате апоптоза (клеточного «самоубийства») и некроза.

По словам Светланы Тамкович, на исследование внеклеточных нуклеиновых кислот крови ее вдохновил академик В. В. Власов своей лекцией курса «Горячие точки молекулярной биологии». Ее дипломная работа, выполненная под руководством канд. биол. наук П. П. Лактионова, была посвящена разработке адекватных подходов к измерению концентраций циркулирующих в крови нуклеиновых кислот и исследованию этого феномена при различных патологических состояниях.

На сегодня механизмы, ответственные за появление и циркуляцию внеклеточных нуклеиновых кислот, равно как и их биологические функции, изучены недостаточно. Есть данные, что они могут активно секретироваться клетками, причем некоторые из этих нуклеотидных последовательностей встречаются с частотой, отличающейся от таковой в геномной ДНК (Stroun et al., 2009). Кроме того, в составе циркулирующей ДНК обнаруживается и ДНК вирусов, бактерий, ДНК растительного происхождения, а также ДНК плода, появляющаяся в кровотоке уже на первом месяце беременности (Тамкович и др., 2008).

Сегодня во многих развитых странах предпринимаются попытки создать на основе анализа внеклеточной ДНК методы диагностики рака, поскольку опухолевоспецифическую ДНК можно детектировать в крови онкологических больных при наличии новообразования размером менее миллиметра, т. е. состоящую всего из нескольких сотен клеток (Jung et al., 2010). При этом не имеет значение тип и локализация опухоли (Jung et al., 2010).

Важно, что анализ изменений в составе и количестве циркулирующей в крови ДНК может быть использован для раннего выявления злокачественных опухолей любой локализации без гистологического исследования. Этот же метод пригоден и для оценки эффективности противораковой терапии. Однако уловить изменения в пуле внеклеточных ДНК, свидетельствующие о наличии опухолевого процесса, нелегко при использовании только свободных внеклеточных нуклеиновых кислот из плазмы либо сыворотки крови. Эффективность подобной диагностики невелика – от 10 до 50 %.

С. Н. Тамкович и ее коллегам из группы клеточной биологии ИХБФМ СО РАН удалось доказать, что в норме основная (около 90 %) часть внеклеточной ДНК в крови адсорбирована на поверхности кровяных клеток (Тамкович et al., 2005). Циркулирующие ДНК и РНК присоединяются к форменным элементам крови благодаря ионным взаимодействиям, а также связываясь со специфическими рецепторами на клеточной поверхности. Одновременное использование для диагностики суммарной внеклеточной ДНК – как свободной, так и связанной с поверхностью кровяных клеток – позволяет в 95 % случаев обнаружить рак

уже на I стадии, а также дифференцировать больных с доброкачественными опухолями.

Именно такой подход к диагностике злокачественных новообразований был использован специалистами группы клеточной биологии ИХБФМ СО РАН при разработке новой диагностической платформы на рак молочной железы. Идеологическая основа проекта была заложена еще в 2004 г., и тогда же, на соответствующей времени технологической базе, была показана принципиальная возможность его осуществления.

По сравнению с широко распространенными методами анализа на онкомаркеры новая диагностическая платформа имеет ряд существенных преимуществ.

Во-первых, традиционные генетические методы диагностики рака основаны на выявлении злокачественных мутаций генов. Однако частота встречаемости подобных мутаций может сильно варьировать в зависимости от типа опухоли. Поэтому даже при использовании обширного набора маркерных мутаций нельзя абсолютно безошибочно распознать процесс онкотрансформации.

В качестве молекулярно-генетических маркеров циркулирующей ДНК для ранней онкодиагностики они используют так называемые *эпигенетические маркеры*, позволяющие выявлять гиперметилирование промоторных (регуляторных) областей ряда генов. К последним относятся гены, участвующие в регуляции клеточного цикла, а также в запуске апоптоза, клеточной дифференцировке, репарации ДНК и т. д. Полная дезактивация регуляторных областей приводит к тому, что даже в отсутствии в генах каких-либо структурных изменений они становятся неактивными, в результате

чего клетка может переродиться в опухолевую. Поэтому использование эпигенетических маркеров намного повышает точность диагностики.

Во-вторых, для эффективного выделения и очистки внеклеточной ДНК из крови сибиряки используют собственные оригинальные разработки (на эти технологии было получено 6 патентов РФ и 1 европейский).

Сейчас исследователи работают над оптимизацией стадий анализа без снижения достоверности и чувствительности метода, приводя его в соответствие современным стандартам клинической лабораторной диагностики. Для этого требуется упростить процедуру обработки крови и перейти на новый метод детекции маркерных генетических последовательностей (мультиплексный ПЦР-анализ в реальном времени).

Для подтверждения диагностической значимости нового метода создается обширная информационная база данных и коллекция образцов крови пациентов с известным диагнозом, а также первично обратившихся с подозрением на опухоль. Эта работа ведется в сотрудничестве с Новосибирским областным онкологическим диспансером, женской консультацией Центрального района и ЦКБ Советского района г. Новосибирска.

Немаловажное значение для будущего нового метода диагностики рака груди имеет и тот факт, что он является неинвазивным (т. е. не нуждающимся в проведении биопсии для гистологического анализа) и не требует дорогостоящего оборудования. Значит, его можно широко применять для оценки эффективности противоопухолевой терапии, а также в скрининговых программах по выявлению этого широко распространенного онкозаболевания.

Невидимые защитники Байкала



Байкал, самое большое в мире пресноводное озеро, уникален не только своими размерами и глубиной, но и удивительной чистотой вод. Вместе с тем, ежегодно из глубинных месторождений на поверхность озера поднимается несколько тонн нефти. Однако нефтяное загрязнение не распространяется по всему озеру, что свидетельствует о наличии природных механизмов очищения. Эту работу производят специальные бактерии, использующие нефтяные углеводороды в качестве пищевого субстрата. Такие микроорганизмы представляют особый интерес для самых разных биотехнологических целей – от очистки воды до органического синтеза

Нефть в озере мирового наследия – само это словосочетание привлекает внимание и вызывает особый интерес представителей различных научных специальностей.

Первые упоминания о байкальской нефти встречаются в работах известного исследователя Байкала, немецкого натуралиста Йохана Георги (1729–1802), однако лишь спустя два столетия она стала предметом всестороннего изучения.

Относительно недавно сибирские ученые установили в байкальских нефтях высокое содержание реликтовых циклановых углеводородов, которые в значительной мере наследуют структуру своих предшественников – липидов, входящих в состав живых организмов. Так было доказано заведомо биогенное происхождение нефти Байкала. Кроме того, в составе нефти обнаружены специфические продукты бактериального окисления углеводородов (Каширцев и др., 2006; Конторович и др., 2007).

В 1980-е гг. углеводородокисляющие микроорганизмы Байкала стали предметом изучения сотрудников Лимнологического института СО РАН (Талиев и др., 1985; Гоман и др., 1986; Петрова и Мамонтова, 1986). Новый виток в изучении этой необычной байкальской микрофлоры был инициирован открытием нового глубоководного выхода нефти, по всем параметрам отличающегося от известных ранее.

Новый выход нефти вблизи мыса Горевой Утес (Средний Байкал) открыт благодаря анализу спутниковых снимков. В 2003 г. на льду Байкала впервые заметили темное пятно диаметром около 1 км, а последующие наблюдения показали, что оно появляется регулярно.

В июле 2005 г. в этом районе на поверхности воды были обнаружены многочисленные пятна нефти, а эхолотирование показало наличие подводной акустической аномалии – факела высотой около 500 м (Хлыстов и др., 2007).

Оказалось, что из донных осадков этих двух районов в воды Байкала ежегодно поступает 2–4 т нефти (Конторович и др., 2007). Тем не менее, загрязнение вод



ПАВЛОВА Ольга Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела микробиологии Лимнологического института СО РАН (Иркутск).

Автор и соавтор 15 научных работ и одного патента РФ. Победитель конкурса на право получения грантов президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (2010)

Ключевые слова: озеро Байкал, нефтяное загрязнение, микроорганизмы, биодegradация, биосурфактанты
Key words: Lake Baikal, oil seepage, microorganisms, biodegradation, biosurfactants



Это не просто грязь, а керны донных осадков Байкала, из которых отбирают пробы для химических и микробиологических анализов с учетом глубины залегания отложения.
Фото В. Короткоручко (Иркутск)

озера наблюдается на ограниченном пространстве, что указывает на наличие интенсивных механизмов естественного очищения.

Знания о жизнедеятельности микроорганизмов, обеспечивающих чистоту воды в условиях нефтяного загрязнения, их филогенетическом разнообразии на момент открытия новых нефтепроявлений были ограничены данными, опубликованными в научной литературе. Причем последние в основном касались исследований, выполненных на примерах нефтяных резервуаров или других природных экосистем мира.

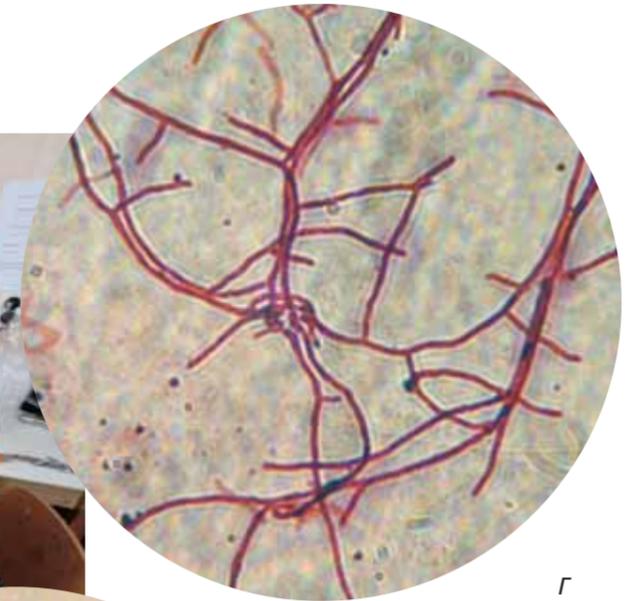
Поэтому с 2004 г. в Лимнологическом институте СО РАН начали целенаправленное изучение микроорганизмов, играющих такую значительную роль в процессах естественной биodeградации байкальской нефти.

Создатели мыльных пузырей

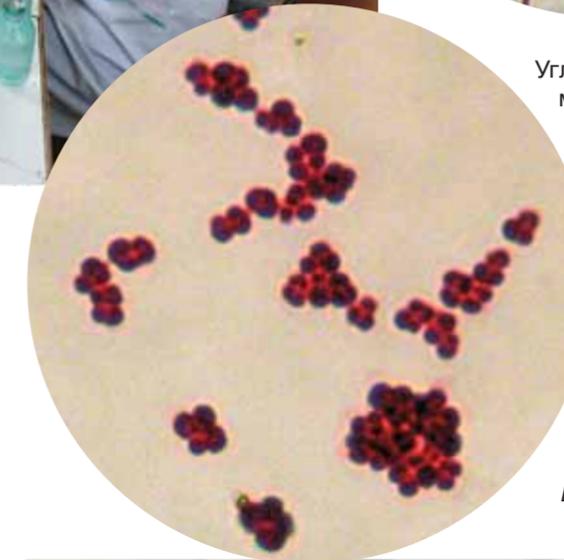
Исследования микробного сообщества в двух новых нефтепроявлениях позволили установить закономерности пространственного распределения углеводородокисляющих микроорганизмов. Наиболее высокая их плотность отмечена в поверхностных пробах воды, содержащей нефтяную пленку, а также в придонных слоях и донных осадках (Павлова и др., 2008).



На борту научно-исследовательского судна «Верещагин» есть мини-лаборатория, где можно сразу же после отбора свежих проб сделать серию экспресс-анализов.
Фото В. Короткоручко (Иркутск)

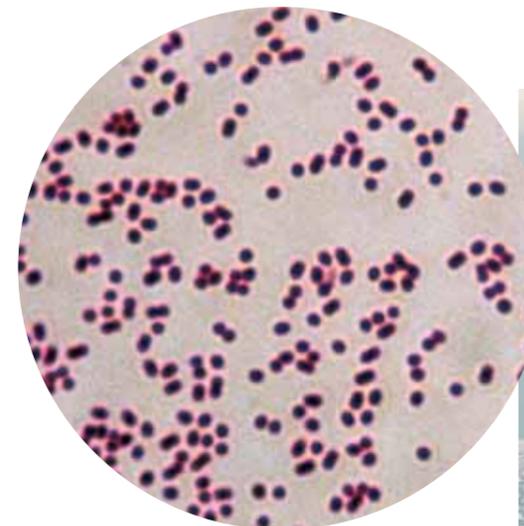


г



Углеводородокисляющие микроорганизмы, обитающие в Байкале, отличаются большим таксономическим и морфологическим разнообразием:
а) *Rhodococcus* sp.;
б) *Acinetobacter* sp.;
в) *Micrococcus* sp.;
г) *Microtonospora* sp.
Световая микроскопия

в



б



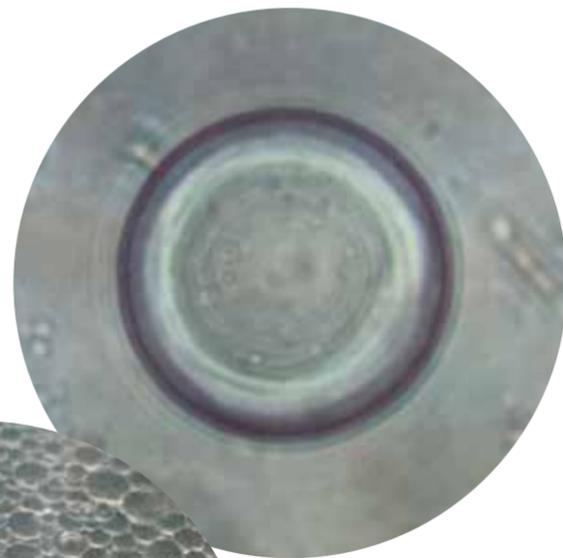
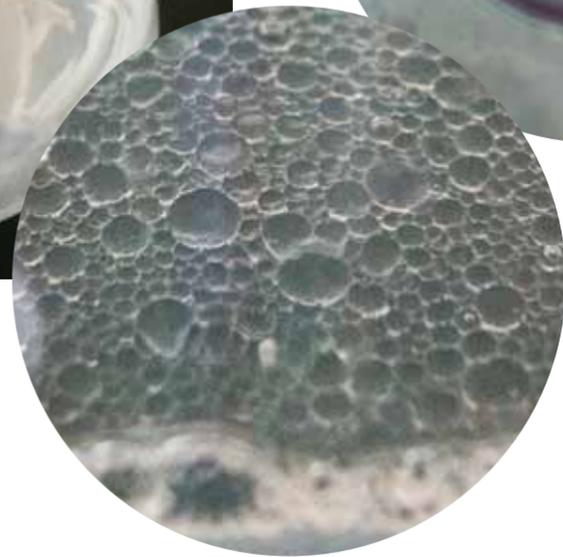
Начало исследованиям углеводородокисляющих микроорганизмов, ответственных за исчезновение нефтяных пятен с водной поверхности, было положено около ста лет назад (Söhngen, 1913), однако и сейчас поиск и селекция природных микроорганизмов-деструкторов веществ, входящих в состав нефти, остается одной из важных задач прикладной микробиологии

а





Углеводороды (в том числе и *n*-гексадекан, используемый в экспериментах) практически нерастворимы в воде, поэтому они формируют на поверхности воды в спокойных условиях пленку, а при встряхивании – достаточно крупные капли



Обнаруженные штаммы углеводородокисляющих микроорганизмов составили уникальную «живую» коллекцию. Все ее «экспонаты» возникли в результате длительной эволюции и адаптации к совершенно особым экологическим условиям Байкала, с его большими глубинами, длительным ледовым периодом и, главное, очень низкой среднегодовой температурой водной толщи (+3,4 °С).

При изучении их генетического разнообразия у большинства (86 %) штаммов детектированы *alk* гены, отвечающие за окисление широкого спектра *n*-алканов (Ломакина и др., 2009).

Начался поиск наиболее активных и устойчивых к воздействию нефти штаммов, пригодных для биотехнологических целей – со-

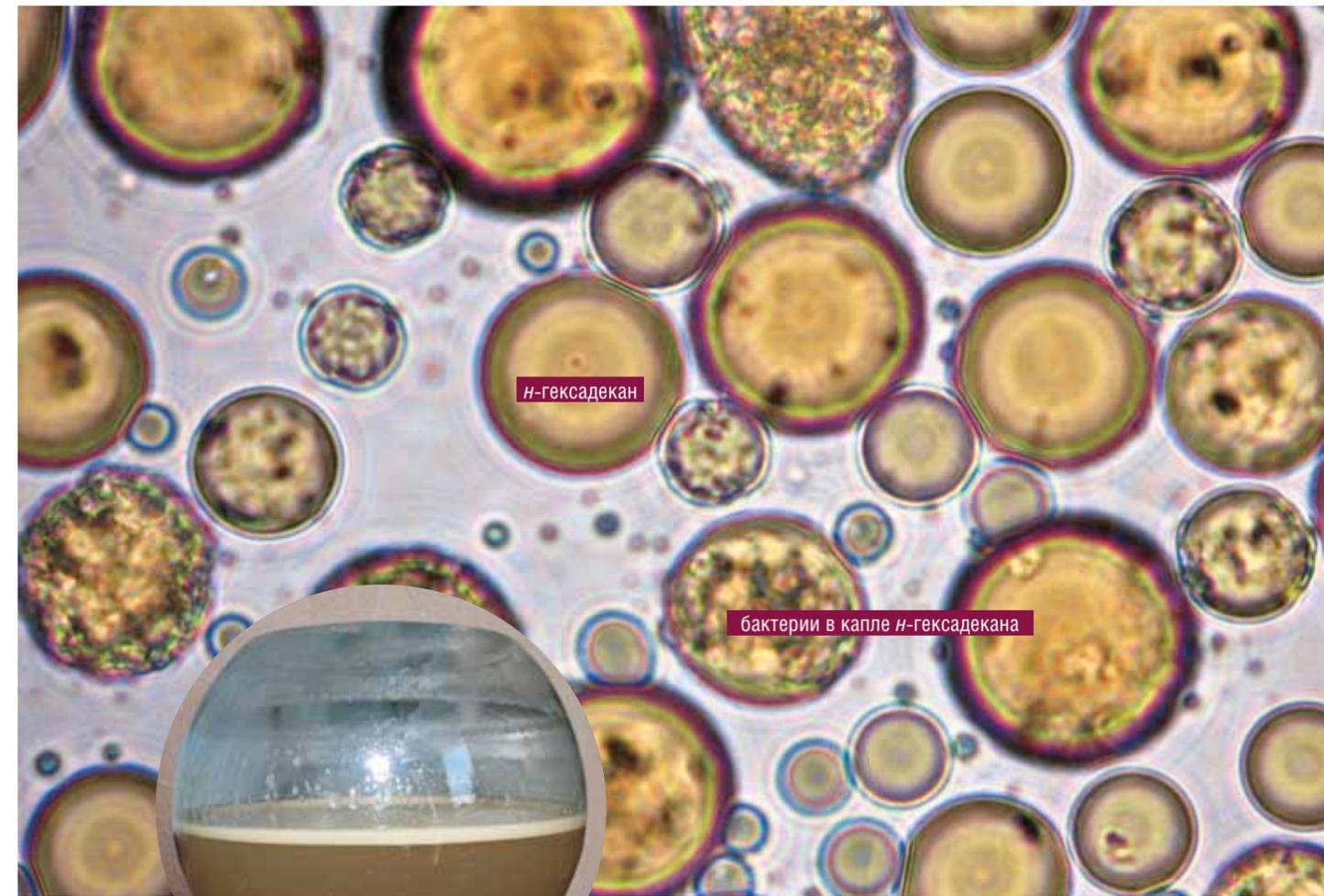
здания ассоциации микроорганизмов-деструкторов нефтяных загрязнений.

Такие виды должны обладать способностью продуцировать *сурфактанты* – вещества, снижающие поверхностное натяжение жидкости и облегчающие образование эмульсии (мелких капелек одной жидкости в другой). Другое название для сурфактантов – *поверхностно-активные вещества* (ПАВ). Эти соединения в обязательном порядке входят в состав любого стирального порошка или моющего средства.

Многие микроорганизмы и некоторые растения способны продуцировать ПАВ. Чтобы отличать сурфактанты биогенного происхождения от искусственно синтезируемых, в названии первых используется приставка *био-*.

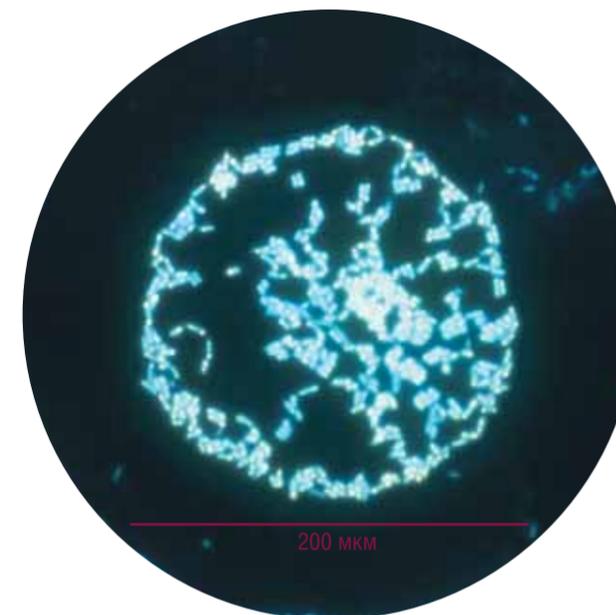
В настоящее время био-ПАВ привлекают значительное внимание как в теоретическом, так и практическом плане. Это обусловлено широкими возможностями их использования в нефтедобывающей, горнодобывающей, химической, фармацевтической и пищевой промышленности, а также для очистки окружающей среды от загрязняющих веществ, прежде всего углеводородов и тяжелых металлов.

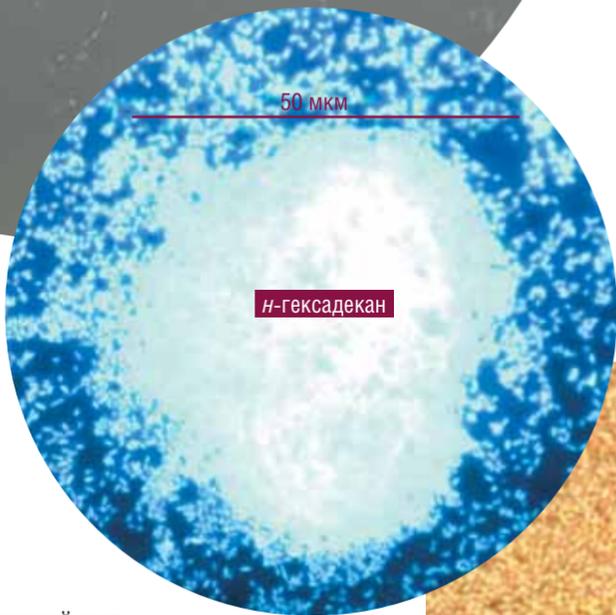
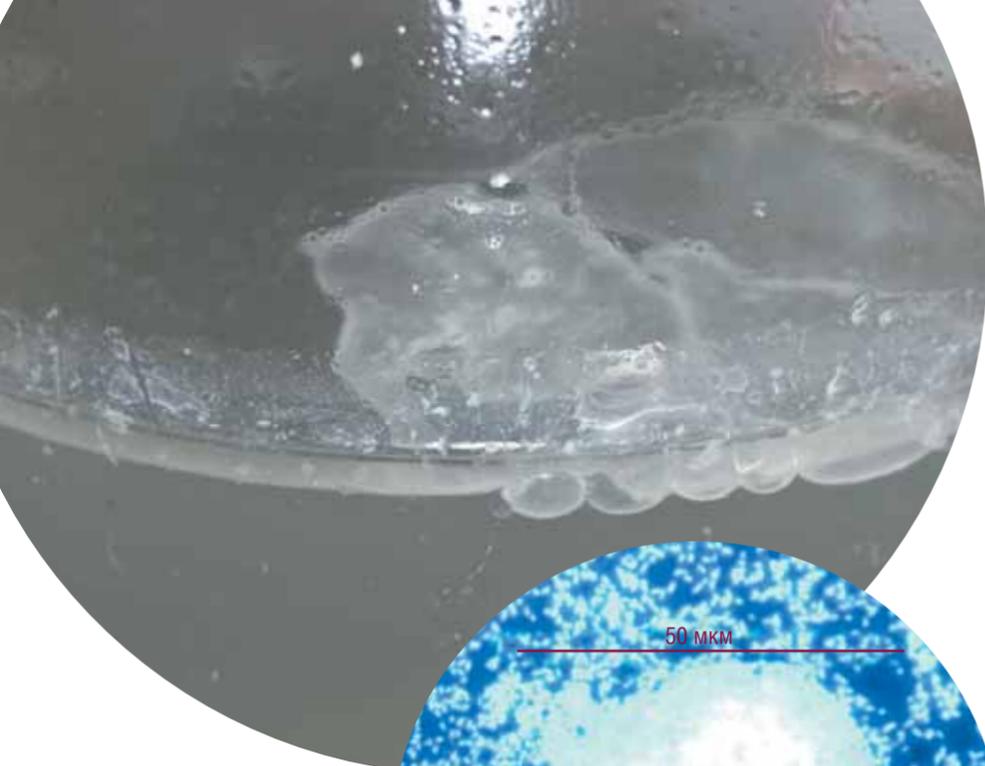
Биосурфактанты не только не уступают по эффективности синтетическим, но и обладают существенными преимуществами: они способны быстро разрушаться в природной среде и не токсичны. К тому же био-ПАВ получают из возобновляемых источников сырья, что делает их перспективными для



Вещества-сурфактанты, выделяемые углеводородокисляющими бактериями р. *Rhodococcus*, способствуют уменьшению поверхностного натяжения, что облегчает им проникновение внутрь углеводородных капель. Сами капли при этом дробятся, образуя мелкодисперсную эмульсию. Через четверо суток культивирования бактерий на среде с добавлением гексадекана их биомасса выросла до $4,8 \cdot 10^8$ клеток/мл (вверху) Световая микроскопия

Колония бактерий рода *Rhodococcus* во внутреннем объеме углеводородной капли Эпифлуоресцентная микроскопия





Через четверо суток культивирования углеводородокисляющих бактерий рода *Pseudomonas* на среде с добавлением гексадекана их биомасса выросла до $3 \cdot 10^9$ клеток/мл. С помощью микроскопического анализа можно увидеть, как бактерии адгезируются (прилипают) на поверхности углеводородных капель. Световая микроскопия (внизу) и эпифлуоресцентная микроскопия (слева)

разработки новых экологически безопасных технологий (Гоготов и др., 2006).

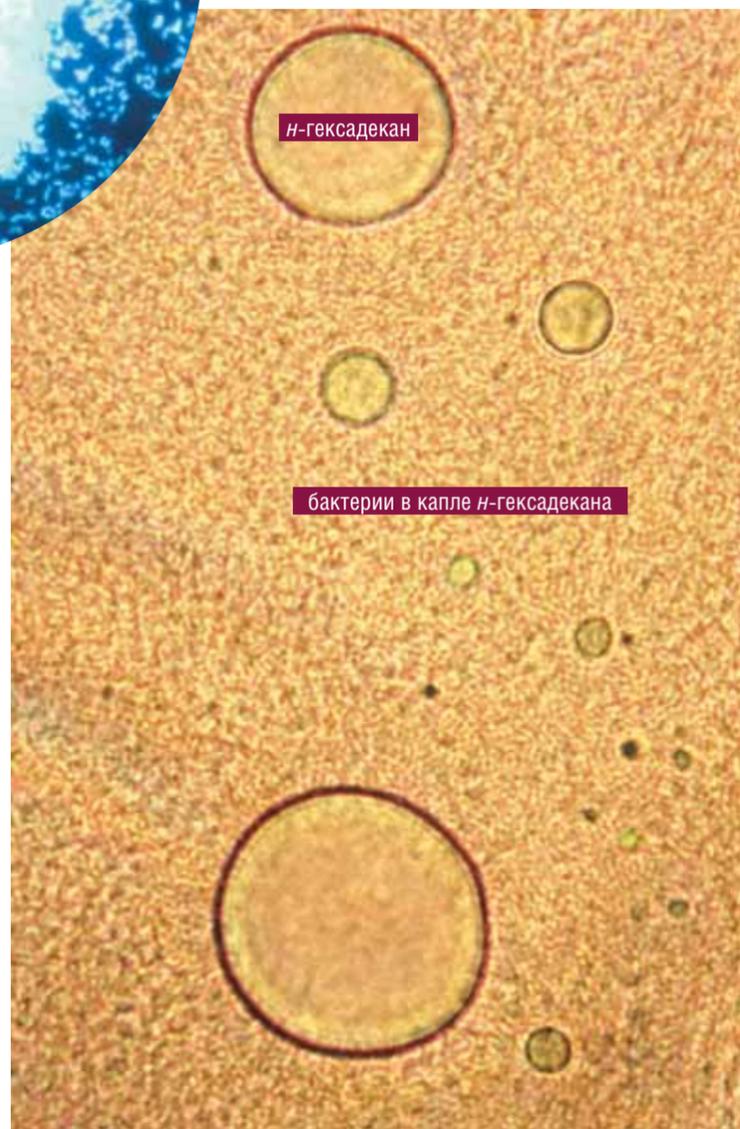
Холод не помеха

Изучением и селекцией углеводородокисляющих микроорганизмов в мире занимаются достаточно широко. За последние десятилетия были разработаны и предложены для практического использования несколько десятков бактериальных препаратов, предназначенных для интродукции такой микрофлоры в загрязненные нефтью водоемы.

Однако способность большинства бактерий-деструкторов перерабатывать нефть и нефтепродукты значительно снижается при низких (менее $+10^\circ\text{C}$) температурах. Исследований, посвященных выделению и селекции микроорганизмов, способных функционировать в таких условиях, немного. Байкальские же бактерии-нефтедеструкторы изначально адаптированы к очень низким положительным температурам среды.

В лабораториях ЛИН СО РАН была исследована способность к синтезу сурфактантов двух видов байкальских углеводородокисляющих бактерий: *Rhodococcus erythropolis* и *Pseudomonas fluorescens*. Для этого штаммы культивировали в воде с добавлением минеральных веществ и углеводорода *n*-гексадекана (его доля в нефти – одна из наиболее высоких).

После четырехдневной культивации биомасса бактерий значительно возросла. С помощью световой



и флуоресцентной микроскопии удалось показать, что на 4-е сутки эксперимента клетки *R. erythropolis* проникли непосредственно внутрь капель углеводорода, а клетки *P. fluorescens* локализовались на их поверхности. Схожие результаты получили другие исследователи (Звягинцева, 2001). Так, бактерии рода *Rhodococcus* при микроскопическом анализе сначала обнаруживались на поверхности капель *n*-алкана, а по мере дальнейшей утилизации субстрата – внутри углеводородных капель.

Способность микроорганизмов синтезировать биосурфактанты стандартно оценивают по снижению уровня поверхностного натяжения на границе жидкая среда–воздух. Уже первые эксперименты показали, что эта величина водной эмульсии липидного экстракта биомассы *R. erythropolis* за время культивации снижалась примерно на 27 мН/м, а *P. fluorescens* – на 19 мН/м.

Эти данные подтверждают, что байкальские штаммы синтезируют значительные количества сурфактантов и могут считаться перспективными в качестве продуцентов био-ПАВ.

Таким образом, в результате работы коллектива специалистов ЛИН СО РАН в районах естественных выходов байкальской нефти было обнаружено и всесторонне изучено микробное сообщество, вносящее значительный вклад в процесс естественного самоочищения водоема от нефтяного загрязнения. Полученные результаты важны не только в фундаментальном плане. В перспективе – создание биопрепаратов из аборигенных, адаптированных к существованию в низкотемпературных условиях микроорганизмов-деструкторов нефтяных загрязнений. Ведь масштаб нефтяного загрязнения водоемов планеты неуклонно растет, а холодные северные регионы в этом плане особенно уязвимы.

Работа поддержана грантом Президента РФ «МК – 1901.2010.5»

Самое чистое озеро планеты остается таким и благодаря огромной армии микроскопических санитаров – бактерий-нефтедеструкторов
Фото М. Панфилова

Литература
Конторович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И. и др. Нефтегазоопасность отложений озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 12. С. 1346–1356.

Ломакина А.В., Павлова О.Н., Шубенкова О.В., Земская Т.И. Разнообразие культивируемых аэробных микроорганизмов в районах естественных выходов нефти на оз. Байкал // Изв. РАН. Сер. биол. 2009. Т. 5. С. 515–522.

Павлова О.Н., Земская Т.И., Горшков А.Г. и др. Сравнительная характеристика микробных сообществ двух районов естественных нефтепроявлений озера Байкал // Изв. РАН. Сер. биол. 2008. Т. 3. С. 333–340.

Хлыстов О.М., Горшков А.Г., Егоров А.В. и др. Нефть в озере мирового наследия // Докл. РАН. 2007. Т. 414, № 5. С. 656–659.

В публикации использованы фото автора



Е.Г. СОРОКОВИКОВА

Сине-зеленая УГРОЗА

Некогда эти организмы сыграли ключевую роль в эволюции биосферы, став изобретателями наиболее эффективного способа фотосинтеза, идущего с выделением кислорода. В результате цианобактерии не только создали биосферу «современного типа», но и по сей день поддерживают ее, производя органическое вещество из углекислого газа и воды и выделяя кислород. Однако современное человечество эти исконные обитатели планеты интересуют в первую очередь как виновники сезонного «цветения» водоемов и продуценты опасных для жизни и здоровья токсинов

Антропогенное загрязнение вод, устройство каналов и искусственных водохранилищ с зарегулированным стоком создает благоприятные условия для массового развития *цианобактерий* – древнейших одноклеточных прокариотических организмов, не совсем точно называемых еще сине-зелеными водорослями. «Цветение» водоемов, вызванное массовым размножением цианобактерий, в наше время приобретает глобальный характер.

По данным мировой статистики, примерно в половине случаев такого «цветения» в воде присутствуют



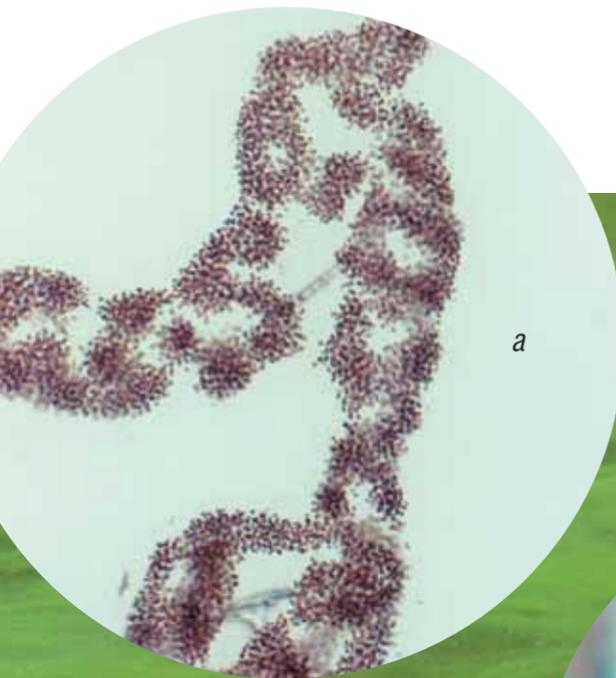
СОРОКОВИКОВА Екатерина Георгиевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела микробиологии Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 9 научных работ. Победитель конкурса на право получения грантов президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (2010 г.)

токсины – ядовитые вещества, вырабатываемые цианобактериями. Первое сообщение о гибели домашних животных, пивших воду из «цветущего» водоема, появилось еще в 1878 г. в журнале *Nature*. А в 1966 г. в бразильском г. Каруару погибли 63 пациента гемодиализного центра. Как выяснилось, для диализа использовали воду, зараженную цианотоксинами. Это событие привлекло внимание исследователей к их изучению.

Особенно остро проблема «цветения» водоемов стоит в странах с теплым климатом, так как высокие температуры, хорошая освещенность и большое количество питательных веществ способствуют массовому развитию цианобактерий. Однако оказалось, что она актуальна и для более «бедных» олиготрофных водоемов в холодных регионах. Цианотоксины, ставшие причиной гибели домашнего скота, были найдены даже в альпийских озерах!

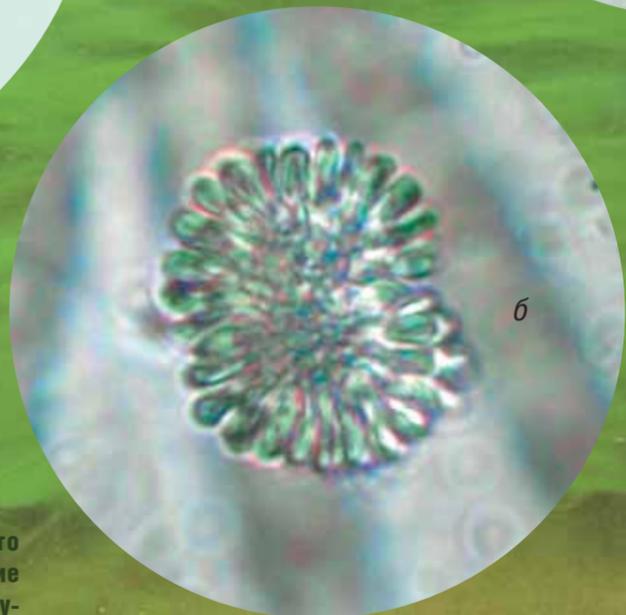


Ключевые слова: цианобактерии, «цветение» воды, гепатотоксины, нейротоксины, микроцистин, сакситоксин.
Key words: cyanobacteria, green scum (green water), hepatotoxins, neurotoxins, microcystin, saxitoxin



a

Все эти виды цианобактерий из оз. Котокельское потенциально токсичны: a – *Microcystis aeruginosa*; б – *Snowella lacustris*; в – *Aphanizomenon flos-aquae*. Оптическая микроскопия



б

Недавно было обнаружено, что гены цианобактерий, отвечающие за синтез токсинов, также участвуют в синтезе других биологически активных веществ, в том числе с противобактериальными и противогрибковыми свойствами, а также с противораковым (цитостатическим эффектом). И сейчас микробиологи активно ведут поиск продуцентов новых лекарственных средств



в



Цианобактерии могут бурно размножаться не только на прибрежном мелководье, но и по всей акватории озера, из-за чего вода приобретает характерный сине-зеленый цвет

Нодулярия Борджиа

Около половины видов в каждом из пяти десятков ныне существующих родов цианобактерий способны продуцировать токсины. Наиболее распространены и изучены токсичные цианобактерии родов *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*. Именно они, как правило, и вызывают «цветение» озер и водохранилищ и вырабатывают различные токсины, которые могут поражать печень (гепатотоксины) или нервную систему (нейротоксины) млекопитающих.

Чаще всего в воде оказываются гепатотоксины – циклические пептиды *микроцистин* и *нодуларин*. Их недаром называют «факторами быстрой смерти»: гибель лабораторных мышей при внутрибрюшном введении этих токсинов наступает в течение нескольких часов. Длительное воздействие низких доз микроцистина приводит к раку и циррозу печени. К тому же, микроцистин очень устойчив, он не разрушается кипячением, обработкой ультрафиолетовым излучением и хлорированием воды, а из-за малого размера молекул

не улавливается фильтрами. Другой гепатотоксин – нодуларин – тоже канцероген; он легко проникает в гепатоциты и вызывает их разрушение.

Более редкие нейротоксины – *анатоксины* и *сакситоксины* – являются алкалоидами. Они опасны для животных, поскольку разрушают нейромышечные контакты, вызывают паралич дыхательной мускулатуры и быструю смерть. Летальная доза сакситоксина – всего 10 мкг/кг.

Цианотоксины высвобождаются из отмерших клеток и могут накапливаться в водоемах. Таким образом, первое звено в цепи аккумуляции и передачи цианотоксинов – вода. Второе – моллюски и рыбы, далее – теплокровные наземные животные и человек. Дикие копытные, домашний скот и другие животные могут отравиться на водопое, если в пищеварительный тракт попадет вода с токсинами или сам фитопланктон. Загрязнение цианотоксинами источников водоснабжения и водозаборов представляет большую опасность для



Этот «безопасный» вид цианобактерий – *Gloeotrichia echinulata* – ранее доминировал в оз. Котокельское, но сейчас уступил свои позиции токсичным представителям родов *Anabaena* и *Microcystis* (справа – *A. lemmermannii*)

человека. Отравление людей может произойти даже при обычном купании в «цветущем» водоеме.

Токсины есть, ПДК – нет

В последнее время во всем мире стали обращать особое внимание на качество природной воды. Это вызвано, с одной стороны, повышением санитарно-гигиенических требований, с другой – ухудшением состояния пресноводных экосистем, основных источников питьевой воды. К тому же, проблема экологической чистоты воды и пищи сегодня не только «модная» тема, но и предмет специального изучения.

По рекомендации ВОЗ во многих странах осуществляется мониторинг цианотоксинов в питьевой воде и продуктах питания, утверждены их предельно допустимые концентрации. Однако в России нет подобных стандартов, и, соответственно, сезонный мониторинг цианотоксинов в питьевой воде не проводится, несмотря на ежегодное «цветение» многих водохранилищ. Документально зафиксированы случаи отравления и даже смерти людей при употреблении в пищу рыбы из «цветущих» водоемов (например, в 2008 г. в Бурятии, на оз. Котокельское). Следовательно, контроль за содержанием цианотоксинов в водоемах, использующихся в рекреационных целях и для рыболовства, необходим.

Специалисты Лимнологического института СО РАН с 2005 г. ведут поиск и изучение токсичных цианобактерий в водоемах Восточной Сибири. Для

их обнаружения можно использовать различные методы. Наиболее простой и доступный – ПЦР-диагностика: последовательности генов, ответственных за синтез цианотоксинов, уже расшифрованы и доступны в мировой базе данных Genbank.

С помощью маркеров к гену, кодирующему фермент микроцистин-синтетазу, удалось установить, что в некоторых восточно-сибирских водоемах (оз. Котокельское, Братском и Усть-Илимском водохранилищах) присутствуют цианобактерии родов *Anabaena* и *Microcystis*, способные к синтезу микроцистина. С помощью методов жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии в пробах фитопланктона оз. Котокельское



было обнаружено три разновидности микроцистина, в том числе и наиболее токсичный микроцистин-LR. По нормам ВОЗ, его ПДК в питьевой воде – лишь 1 мкг/л.

Эти результаты вызвали большой интерес гидробиологов и многочисленные предложения заняться изучением различных водоемов России и стран СНГ, где наблюдается массовое развитие цианобактерий. В результате география исследования значительно расширилась за счет проб, полученных от коллег из Красноярска, Калининграда, Украины, Белоруссии. И практически все они содержали гены микроцистин-синтетазы...



В 2010 г. с помощью генетического анализа в водоемах Иркутской области удалось выявить цианобактерии, содержащие гены синтеза еще одного токсина – сакситоксина. Новый метод – иммуоферментный анализ – позволил подтвердить присутствие в воде самих токсинов.

Впервые за пять лет мониторинга токсичные цианобактерии были обнаружены в Байкале. На открытых водных пространствах озера «цветение» воды невозможно: низкие температуры и нехватка питательных веществ, необходимых для роста цианобактерий, надежно хранят чистоту байкальских вод. Но неглубокие заливы – излюбленные места отдыха туристов – летом хорошо прогреваются. В загрязненных человеком прибрежных зонах складываются благоприятные условия для развития цианобактерий, и байкальская вода здесь может содержать цианотоксины.

Этот факт вызывает особую тревогу. Ведь если даже самое чистое озеро планеты нуждается в сезонном мониторинге цианотоксинов, то что говорить о других водоемах России?

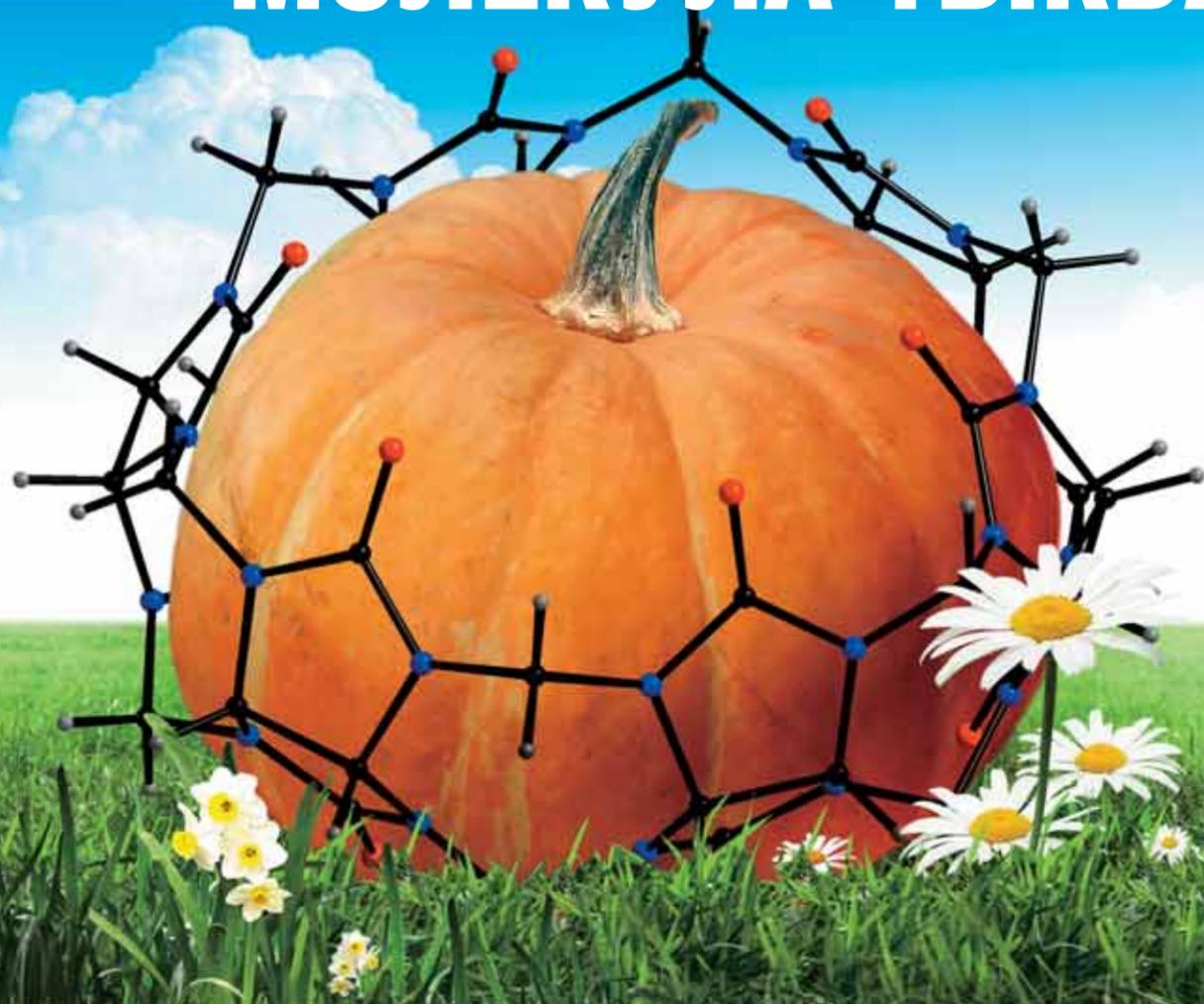
Синева-зеленый оттенок, который приобретает вода с гниющей биомассой фитопланктона, обусловлен выходом из клеток вспомогательного фотосинтетического пигмента цианобактерий – фикоцианина. Сегодня это цвет опасности. Оз. Котокельское, август 2010 г.

Литература:

- Волошко Л.Н., Плющ А.В., Титова Н.Н. Токсины цианобактерий (*Cyanobacteria*, *Cyanophyta*) // *Альгология*. 2008. Т. 18, № 1. С. 3–20.
- Громов Б.В. Цианобактерии в биосфере // *Соросовский образовательный журнал*. 1996. № 9. С. 33–39.
- Тихонова И.В. и др. Анализ цианобактерий озера Байкал и Усть-Илимского водохранилища на наличие гена синтеза микроцистина // *Доклады РАН*. 2006. Т. 409, № 3. С. 1–3.

В публикации использованы фото автора

Кукурбитурил – МОЛЕКУЛА-ТЫКВА



Лишь недавно ученые смогли объяснить уникальную способность биологических молекул к самоорганизации и молекулярному распознаванию – селективному взаимодействию с другими частицами. Благодаря этой способности происходит образование двойных спиралей ДНК и запуск иммунных реакций, в результате чего синтезируются специальные белки, которые способны нейтрализовать чужеродные тела, попавшие в организм. Оказывается, в этих случаях взаимодействие молекул между собой подчиняется принципу взаимного дополнения – *комплементарности* (мы сталкиваемся с этим явлением в повседневной жизни, открывая замок соответствующим ему ключом).

Каким образом принцип «ключ – замок» используется на молекулярном уровне, в частности в биохимии? Химические элементы представляют собой строительный материал для молекул всех известных веществ. Это необходимые заготовки, из них можно собирать молекулы разнообразной архитектуры и создавать соединения, обладающие полезными свойствами.

Известно, что молекулы соединяются между собой связями различного типа и образуют сложные структуры по вполне четким и ясным правилам. Кирпичики, строительные блоки, из которых создается сложная конструкция, обязательно должны соответствовать друг другу геометрически и функционально. Там, где в одном фрагменте есть углубление, для обеспечения эффективного соединения в соседнем фрагменте должна быть выпуклость, подходящая по размеру и форме. И чем больше в каждом строительном блоке таких пригодных для сцепления мест, тем надежнее, прочнее и устойчивее вся конструкция.

Изучением процессов образования из отдельных молекул более сложных структур занимается особая наука – *супрамолекулярная химия* (от лат. *supra* – выше, над).



КОВАЛЕНКО Екатерина Александровна – кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории химии кластерных и супрамолекулярных соединений Института неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 15 научных публикаций. Победитель конкурса научно-популярных статей среди молодых ученых СО РАН (2010)

Что лежит в основе процессов самосборки и самоорганизации? Как подступиться к созданию молекулярных и супрамолекулярных устройств? Для этого необходимо с единых позиций взглянуть на все виды молекулярных ассоциатов – от димеров до организованных фаз. Оказывается, отсутствие ковалентной связи между химическими системами вовсе не означает, что из них невозможно конструировать новые вещества. Как мы увидим на примере кукурбитурила – молекулы-тыквы, являющейся удобным молекулярным контейнером, существуют подсказанные самой природой возможности для синтеза высокоупорядоченных гибридных материалов с полезными свойствами

За пределами молекул

Термин «супрамолекулярная химия» ввел в 1978 г. выдающийся французский ученый, лауреат Нобелевской премии в области химии Ж.-М. Лен. Впоследствии он был определен как «...химия за пределами молекулы, описывающая сложные образования, которые являются результатом ассоциации двух (или более) химических частиц, связанных вместе межмолекулярными силами».

Если классическая химия имеет дело с реакциями, в которых происходят разрыв и образование химических связей, то объектом изучения

Ключевые слова: кукурбитурил, супрамолекулярная химия, соединения включения
Key words: cucurbituril, supramolecular chemistry, inclusion compounds



Работа химика-синтетика требует кропотливого поиска оптимальных условий синтеза, для чего приходится проводить сотни экспериментов по кристаллизации. Для соединений, которые не разрушаются на воздухе, кристаллизацию проводят в обычных банках (слева). Для получения веществ, которым требуется инертная атмосфера, используется вакуумная камера (внизу)

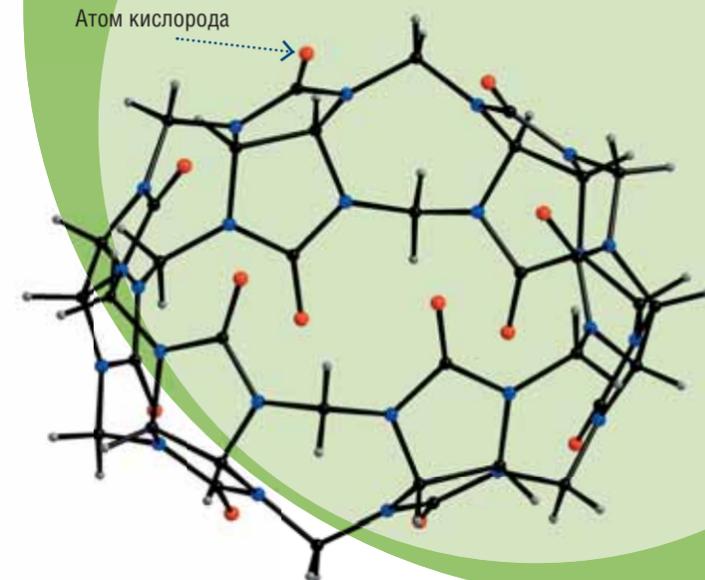


супрамолекулярной химии служат межмолекулярные взаимодействия (например, водородные связи или электростатические силы). Она охватывает явления из различных областей науки: органической и координационной химии, физической химии, биологии, физики, микроэлектроники – и благодаря их взаимному обогащению имеет широкий спектр возможностей.

Объекты классической химии – молекулы, а объектами супрамолекулярной химии являются супермолекулы и супрамолекулярные ансамбли. Что это такое?

Супермолекулы представляют собой отдельные образования, возникающие за счет межмолекулярной ассоциации определенного числа компонентов. Считают, что супермолекулы представляют собой по отношению к молекулам то же, что молекулы по отношению к атомам, причем роль ковалентных связей в супермолекулах играют межмолекулярные взаимодействия. *Супрамолекулярные ансамбли* – системы, возникающие в результате спонтанной ассоциации неопределенно большого числа компонентов. В результате образуется

Исследования, направленные на создание супрамолекулярных материалов с использованием в качестве строительных блоков супермолекул-кавитандов, идут в ведущих лабораториях мира. В России работают научные школы академиков А. И. Коновалова, А. Ю. Цивадзе, М. В. Алфимова, чл.-кор. С. П. Громова. В новосибирском Институте неорганической химии СО РАН развивается оригинальное направление – супрамолекулярная неорганическая химия. Супрамолекулярные структуры строятся из органических блоков – молекул кукурбитурилов и неорганических – фрагментов комплексов металлов



фаза, обладающая уникальной пространственной организацией и физико-химическими свойствами.

Супрамолекулярные ансамбли представляют собой сложные конструкции определенной архитектуры. Они строятся самопроизвольно из комплементарных фрагментов аналогично самопроизвольной сборке сложнейших пространственных структур в живой клетке. Подбор условий для такой сборки приводит к получению материалов с новыми интересными свойствами.

Нужно отметить, что молекулярная химия не тождественна химии соединений, имеющих наноразмеры (1 нм = 10^{-9} м). На взгляд обычного человека, имеющего дело с сантиметрами и метрами, различия между ними могут показаться незначительными, но с точки зрения химика они поистине огромны. Для сравнения: размер атомного ядра составляет 10^{-15} м – в миллион раз меньше наноразмерных соединений! Поэтому методы синтеза, разработанные для относительно малых молекул и позволяющие с высокой степенью надежности получать желаемые соединения, нельзя перенести на наноразмерные молекулы.

Игра в ансамбле

Остановимся подробнее на строительных блоках, используемых для получения супрамолекулярных ансамблей. И органические макроциклические соединения (в том числе кукурбитурил), и относительно большие одно- и многоядерные комплексы металлов легкодоступны, растворимы и устойчивы в водных растворах минеральных кислот. Все эти структуры соответствуют друг другу по геометрическим размерам и координационным возможностям, что обеспечивает

Кукурбитурил – органическое соединение семейства макроциклических кавитандов состава $C_{6n}H_{6n}N_{4n}O_{2n}$. Формой он напоминает тыкву (*Cucurbitaceae*), от латинского наименования которой и получил свое название, а по сути представляет собой «бочку» без дна и крышки. Ее высота – 0,6 нм, максимальный внутренний диаметр – 0,5 нм, атомы кислорода карбонильных групп образуют два одинаковых входа/выхода с ван-дер-ваальсовым диаметром 0,42 нм. Размеры внутренней полости кукурбитурила достаточны, чтобы в ней могла поместиться небольшая органическая молекула

высокую эффективность связывания при образовании супрамолекулярных соединений.

Выбор подобных строительных блоков относительно больших размеров для создания новых веществ обусловлен тем, что в супрамолекулярных ансамблях отдельные молекулы удерживаются за счет межмолекулярных взаимодействий, каждое из которых в целом значительно слабее, чем ковалентные связи в самой молекуле. И высокая эффективность суммарного связывания отдельных блоков обеспечивается взаимодействием сразу нескольких центров.

Кукурбитурил был впервые получен в 1905 г. немецким химиком Р. Берендом, однако методы того времени не позволили правильно определить его состав и структуру. Только сравнительно недавно строение кукурбитурила было надежно установлено методом рентгеноструктурного анализа. Оказалось, что молекула напоминает тыкву или бочку, в области дна и крышки которой располагаются порталы – по шесть атомов кислорода сильно поляризованных карбонильных групп. Размеры внутренней полости кукурбитурила



Координация между двумя атомами осуществляется за счет неподеленной пары электронов одного атома (донора) и свободной орбитали другого атома (акцептора), отличающейся от обычной ковалентной связи только происхождением связующих электронов. Донорно-акцепторный механизм часто реализуется при комплексообразовании

предпочтительным для создания супрамолекулярных соединений по сравнению с другими широко используемыми макроциклическими соединениями.

Крышку на бочку!

Итак, у нас имеется кукурбитурил – отличный строительный блок в виде «бочки» без дна и крышки. Где же взять «крышку», которая бы хорошо подходила по размеру, вступая с кукурбитурилом в межмолекулярные контакты? Причем, чем больше таких взаимодействий, тем лучше бы «крышка» удерживалась?

Удачным вариантом оказалось использование четырехъядерных комплексов лантаноидов. Их строение хорошо известно – это искаженный куб, в вершинах которого расположены атомы металла и кислорода гидроксильных групп. Из двух молекул кукурбитурила и одного четырехъядерного комплекса металлов за счет координации атомов кислорода к атомам металлов можно получить «сэндвич».

Экспериментальные исследования подтвердили, что размеры получаемой таким образом «крышки» хорошо соответствуют размерам «бочки», а координированные к металлу молекулы воды действительно способны к образованию системы водородных связей с кукурбитурилом, что и требуется для образования прочных супрамолекулярных соединений.

Что можно построить из полученных супермолекул – образований, достаточно прочных благодаря множественным водородным связям? Строительные блоки из «сэндвичевых» молекул очень удобны для конструирования более сложных структур. Например, при дополнительном введении в реакцию серебра «сэндвичи» превращаются в зигзагообразные «цепи». Еще более удивительна структура «пчелиных сот», в углах которых находятся 13-ядерные аквакомплексы алюминия, связанные с молекулами кукурбитурила. Этот размер строительных блоков – вовсе не предельный. К примеру, синтезированы кристаллы, в которых аналогичным «кирпичиком» кристаллической структуры является 32-ядерный галлиевый аквакомплекс.

Бесконечные молекулярные цепочки из молекул кукурбитурила и катионов металлов представляют собой молекулярные трубы – благодаря атомам кислорода порталов кукурбитурила, захватывающим катионы металла между «бочками»

позволяют ему принимать «гостя» – небольшую органическую молекулу или ион.

Кукурбитурил имеет сильную тенденцию к координации различных частиц, что делает его удобным исходным реагентом для синтеза супрамолекулярных соединений. Например, атомы кислорода порталов кукурбитурила обладают чрезвычайно высокой способностью связывать ионы металлов. В результате молекулы кукурбитурила выстраиваются друг над другом, чередуясь с катионами металла, и образуют бесконечные полимерные цепи – настоящие молекулярные трубы.

Подобные высокоупорядоченные гибридные материалы с большими каналами, форму и размер которых можно контролировать, используют для процессов тонкой очистки, разделения и выделения веществ, супрамолекулярного катализа и оптоэлектроники.

Простота в получении, стабильность в растворах минеральных кислот, термическая устойчивость (кукурбитурил не разлагается при нагревании до 400 °С!), высокая способность к кооперации с другими частицами – все это делает кукурбитурил наиболее

Гостеприимная молекула

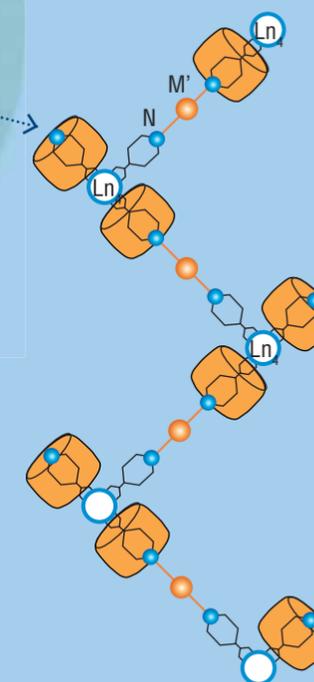
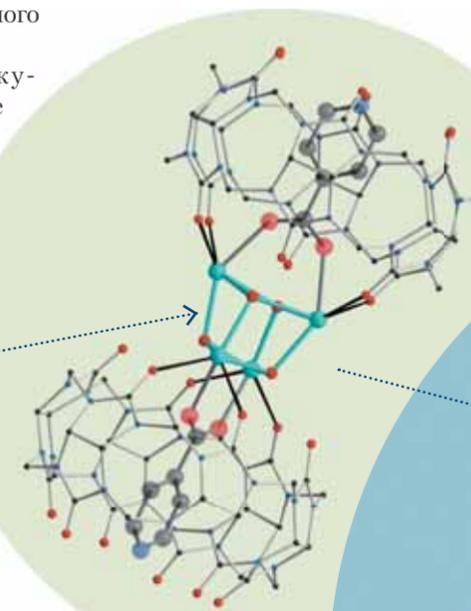
Выше уже упоминалась способность гостеприимного «хозяина» кукурбитурила включать в свою внутреннюю полость небольшие молекулы «гостей». Соединения включения – так называются соединения, образованные включением молекул одного сорта («гостей») в полости кристаллического каркаса из молекул другого сорта («хозяина»), при этом между «гостем» и «хозяином» нет специфических химических связей помимо ван-дер-ваальсовых взаимодействий и водородных связей. Известно, что такие явления включения играют исключительно важную роль в самых разнообразных процессах – от дыхания растений и ферментативного катализа до анестезии и формирования залежей природного газа.

Гидрофобность полости кукурбитурила, а также наличие «крышки» создают очень благоприятные условия для включения и удержания «гостя» внутри молекулы.



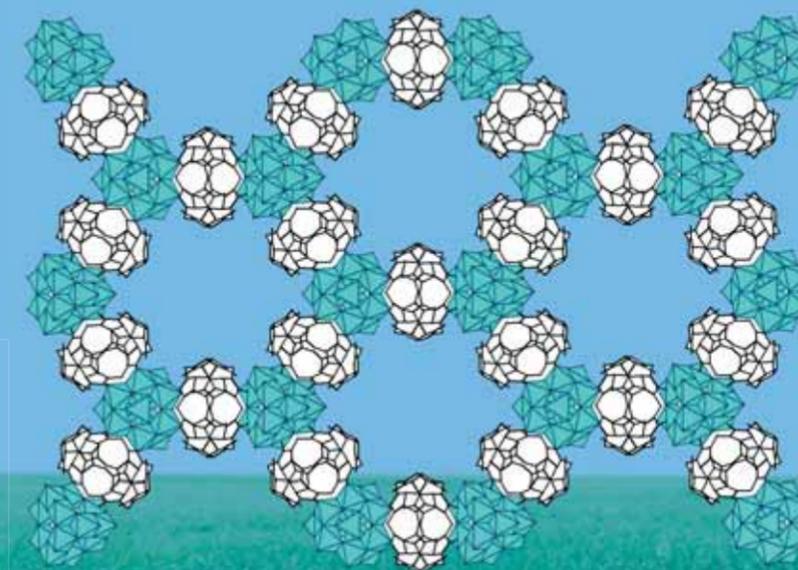
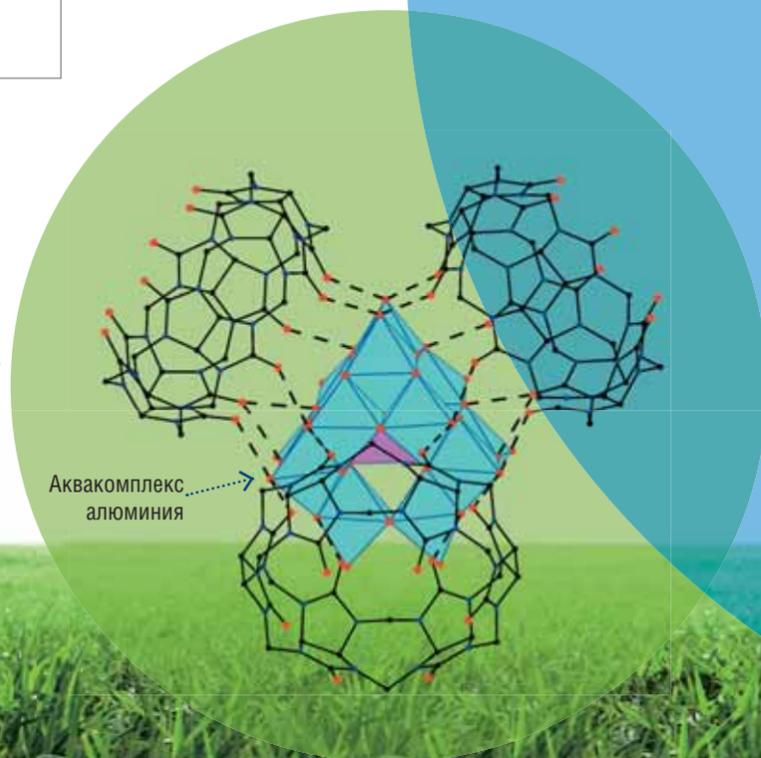
Магнитные мешалки (на переднем плане) используются для синтеза соединений при перемешивании и нагревании, вакуумная система (позади) – для соединений, требующих инертной атмосферы

Комплекс металла

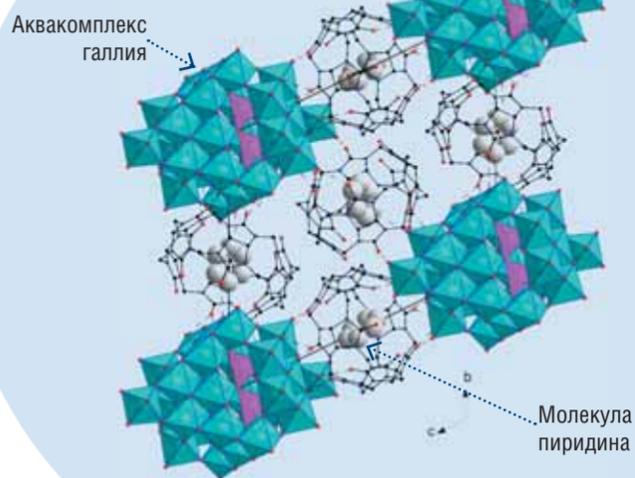


Малая органическая молекула, атомы которой показаны шарами большего размера, включена в полость «бочки». Атомы металла образуют тетраэдры Ln_4 . За счет координации четырех атомов кислорода порталов к двум атомам металла противоположных ребер тетраэдра Ln_4 (по два атома O на каждый Ln) две молекулы кукурбитурила и один четырехъядерный комплекс образуют «сэндвич». «Сэндвичевые» молекулы удобны для конструирования более сложных структур, например зигзагообразных «цепей»

Образование водородных связей помогает упорядочить расположение таких больших строительных блоков, как полиядерные аквакомплексы. Одним из ярких представителей подобных комплексов является 13-ядерный аквакомплекс алюминия $\epsilon\text{-Al}_{13}$. Его можно представить в виде усеченного тетраэдра, каждая из четырех гексагональных плоскостей которого образована атомами кислорода OH-групп и молекул H_2O . Расположение этих лигандов очень хорошо соответствует форме и размерам порталов кукурбитурила согласно принципу комплементарности



Супрамолекулярные комплексы получают в виде красивых кристаллов из смеси концентрированных растворов исходных соединений. Развитая система водородных связей прочно удерживает строительные блоки вместе. Основным мотивом в кристалле является структура, напоминающая пчелиные соты и состоящая из шести аквакомплексов $\epsilon\text{-Al}_{13}$ и шести молекул кукурбитурила. Поликатионы расположены по углам «сот», связывая три соседних кольца



Так, добавление в реакционный раствор пиридина или цианопиридина приводит к образованию супрамолекулярного соединения, в котором эти малые органические молекулы включены в полость кукурбитурила. Это происходит несмотря на то, что ван-дер-ваальсов радиус молекул-гостей (0,59 нм) несколько больше внутреннего диаметра входного отверстия кукурбитурила (0,42 нм). Однако образование соединения включения настолько выгодно, что в условиях реакции образующие порталы атомы кислорода, по-видимому, отклоняются от своих позиций и впускают «гостя» во внутреннюю полость. Включение приводит к небольшим искажениям как молекулы гостя, так и кукурбитурила.

В полость кукурбитурила также могут быть включены другие относительно малые молекулы (например, тетрагидрофуран, бензол, диоксан).

Уникальный 32-ядерный аквакомплекс галлия имеет размер примерно два нанометра. В кристалле такие огромные, по меркам молекул, строительные блоки чередуются с молекулами кукурбитурила, соединяясь с ними через систему водородных связей между атомами кислорода дна и крышки «бочек» и гидроксо- и аквалигандами на поверхности поликатиона. При этом в полости «бочек» включены малые органические молекулы пиридина, атомы которых показаны шарами большего размера

Изучение механизма включения «гостей» в полость молекулы «хозяина» не только представляет интерес с точки зрения фундаментальной науки, но и вносит существенный вклад в развитие исследований по такой актуальной проблеме, как транспорт и адресная доставка в организме различных веществ, в том числе лекарств. С помощью супрамолекулярных подходов можно направленно конструировать молекулярные контейнеры для терапевтических средств пролонгированного действия. Поместив в полость органических макроциклических соединений сильнодействующие лекарственные препараты, можно избирательно доставить их в определенные органы и ткани человека и в нужный момент просто «открыть крышки».

В последнее время разработаны методы синтеза кукурбитурилов более крупных размеров – «бочек» большего диаметра, имеющих по 7, 8 и более атомов кислорода порталов с каждой стороны. Такие молекулы очень перспективны – большее количество атомов кислорода может обеспечить образование большего числа водородных связей и, соответственно, в результате образуются более прочные супрамолекулярные соединения. Крупные молекулярные контейнеры смогут вмещать в себя и более крупных «гостей», что открывает уникальные возможности.

Таким образом, три основные функции супермолекул: молекулярное распознавание, превращение и транспорт – позволяют рассматривать супрамолекулярную химию как устойчивый фундамент создания наноразмерных устройств, а также новых гибридных материалов для процессов тонкой очистки, разделения и выделения веществ, супрамолекулярного катализа, оптоэлектроники и создания лекарств пролонгированного действия.

Работа выполнена по гранту Президента РФ МК-1029.2011.3. Автор также благодарит за финансовую поддержку фонд «Династия».

Литература
Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998.

Майничева Е.А. (Коваленко), Герасько О.А., Шелудякова Л.А. и др. Синтез и кристаллическая структура супрамолекулярных соединений полиядерных аквагидрококомплексов алюминия (III) с кукурбитурилом // Изв. РАН. Сер. хим. 2006, Т. 55, № 2. С. 261–268.

Майничева Е.А. (Коваленко), Трипольская А.А., Герасько О.А. и др. Синтез и кристаллическая структура комплексов Pr(III) и Nd(III) с макроциклическим кавитандом кукурбитурилом // Изв. РАН. Сер. хим. 2006, № 9. С. 1511–1517.

Freeman W.A., Mock W.L., Shih N.-Y. Cucurbituril // J. Am. Chem. Soc. 1981. Vol. 103. P. 7367.

Lehn J.-M. Supramolecular chemistry – receptors, catalysts, and carriers // Science. 1985. Vol. 227. P. 849.

Lehn J.-M. Supramolecular chemistry – scope and perspectives molecules, supermolecules, and molecular devices // Angew. Chem. 1988. Vol. 100. P. 91; Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 1988, Vol. 27. P. 89.

УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ

Воздух практически не поглощает и не отражает свет в видимой части спектра; не испускает он и собственных лучей. Но опираясь на эту невидимую субстанцию, на специальных крылатых машинах (самолетах) мы способны передвигаться со скоростью, во многие сотни раз превышающей скорость пешехода! Как сделать полет максимально эффективным и в то же время предельно безопасным? Ответ вполне очевиден – надо прежде всего изучить особенности воздушных течений вокруг корпуса летящей машины. Поэтому одна из насущных задач аэродинамики, поставленная более века назад и ставшая особо актуальной с ростом авиаскоростей, – увидеть эти мощные, но невидимые потоки воздуха

ГОЛУБЕВ Максим Павлович – кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник лаборатории оптических методов диагностики газовых потоков Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 30 работ

Ключевые слова: аэродинамика, летательные аппараты, воздушные потоки, оптические методы, визуализация, фотохромные материалы.
Key words: aerodynamics, flight, aircraft, gas flow, optical methods, visualisation, photochromic materials



После успехов авиационных технологий прошлого века может показаться удивительным, что в настоящее время усилия, направляемые на совершенствование форм летательных аппаратов, практически не способствуют дальнейшему улучшению их летных качеств. Это видно по внешнему сходству самолетов одного класса, созданных разными авиаконструкторами в течение последних лет.

И это неудивительно, ведь законы аэродинамики для всех едины, поэтому максимально эффективную форму *планера* (корпуса самолета) с требуемыми летными характеристиками все разработчики находят независимо друг от друга. И сравнивая, например, современные истребители пятого поколения – американский F-22 «Raptor» и разрабатываемый в России Т-50, нетрудно заметить сходство их контуров, формы крыльев и хвостовых стабилизаторов, близкие углы наклона килей и т. д.

Следует признать, что достигнут практический предел технологии изготовления планеров, основанной на теории Жуковского. Но этот факт отнюдь не ограничивает дальнейшее развитие авиационной техники. В настоящее время улучшения летных характеристик добиваются за счет регулирования режимов обтекания летящего аппарата набегающим воздухом.

Известно, что при движении самолета в потоке воздуха иногда происходят нежелательные явления, увеличивающие сопротивление среды, в первую очередь – образование вихрей и ударных волн, а также «отрыв потока» от поверхности корпуса. Борьба за экономичность и увеличение скорости полета определяет значимость исследований этих аэродинамических явлений. Воздействие на процессы их образования и развития может повысить управляемость аппарата, уменьшить расход топлива, снизить визуальную и акустическую заметность, расширить диапазон доступных режимов полета и т. п.

На этапе проектирования самолета большое внимание уделяется не только экспериментальным, но и численным исследованиям обтекания как планеров, так и элементов конструкции летательных аппаратов (внешних частей двигателя, воздухозаборников, люков, навесного оборудования). Развитие вычислительной

техники позволило существенно ускорить и вывести на более высокий уровень математический расчет параметров движения воздуха.

Однако сложность и многообразие аэродинамических явлений довольно часто ограничивают возможность численного моделирования реальных условий полета, что приводит к снижению точности или даже невозможности расчетов. В этих случаях единственный выход – проведение экспериментальных исследований, позволяющих получить как численную информацию, так и наглядное представление об общей картине процесса.

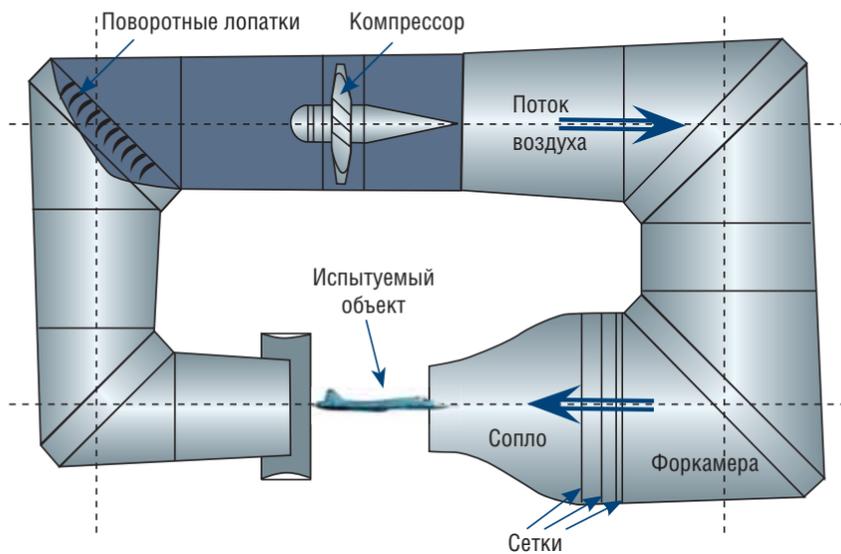
Дело авиаконструкторов – труба

С точки зрения пилота (и летательного аппарата), находящегося в полете, неважно, он ли летит сквозь неподвижную воздушную среду, или же поток воздуха набегаает на «подвисший» самолет. Поэтому существует два типа экспериментов: либо исследуемые объекты обдувают потоком воздуха в так называемой *аэродинамической трубе*, либо, закрепляя их на самолетах, проводят летные испытания в реальных условиях. При этом с помощью датчиков измеряют давление и температуру, подъемную силу, сопротивление, нагрузки и т. д.

Вообще говоря, данные, получаемые в летных испытаниях, более достоверны, однако такие эксперименты весьма затратны и часто нецелесообразны.

Для изучения обтекания полномасштабной модели или настоящего самолета нужна аэродинамическая труба огромного размера. Такая труба находится, например, в распоряжении ученых американского исследовательского центра «Ames». В нее помещается даже авиалайнер «Боинг-737» в натуральную величину. Подобных аэродинамических установок в мире немного, и работают они на относительно малых скоростях (менее 200 км/ч), моделируя в основном проблемные низкоскоростные режимы полета (например, посадку).

Чаще исследования проводят в трубах меньшего размера. Это позволяет не только удешевить эксперимент, но и расширить доступный диапазон изучаемых параметров обтекания. При этом испытывают либо уменьшенную модель целого объекта, либо отдельные



Аэродинамическая труба – устройство, предназначенное для испытаний летательных аппаратов. Трубы бывают разных типов, но во всех действует один принцип – искусственно создаваемый поток воздуха обдувает исследуемый объект, моделируя его полет. Основной элемент трубы – компрессор – накачивает воздух в форкамеру (широкую часть трубы), где он замедляется и проходит через набор сеток, устраняющих неоднородности поля скоростей. Далее воздушный поток поступает в сужающееся сопло, откуда с ускорением выходит в открытую рабочую часть (секцию, где производят измерения) и, если труба замкнутого типа, снова направляется к компрессору. Угловые стыки трубы снабжены специальными поворотными лопатками, которые плавно изменяют направление потока воздуха, не позволяя развиваться в нем дополнительным турбулентным завихрениям

Самая большая в мире аэродинамическая труба расположена в комплексе ангаров исследовательского центра «Ames» (Калифорния, США). Ее размеры – 25 метров в высоту и 50 метров в ширину; она может вместить 180-местный аэробус. Для обеспечения компрессорной системы ветродуйных аппаратов энергией рядом расположена стомегаваттная электростанция. Испытуемые летательные аппараты фиксируют на вертикальных штангах – пилонах. Меняя их относительную высоту, аппарат ориентируют под нужными углами к направлению потока

его части в натуральную величину или в масштабе. Это относится не только к самолетам, но и к автомобилям, поездам, строениям и т. п. Иногда используют и простые геометрические формы (шар, цилиндр, плоский клин, конус) – обычно для изучения фундаментальных эффектов и явлений.

Однако получить в эксперименте набор цифр (значения температуры, давления, величины и направления скорости потока воздуха в различных точках) часто бывает недостаточно. Зрительный образ процесса как дополнение к числовому представлению иногда дает более ценную информацию, поскольку позволяет выявить ряд особенностей воздушного течения, определить наиболее интересные области для дальнейшего изучения и т. д. И в этом исследователям помогают *оптические* методы диагностики – одни из мощнейших в аэродинамике.

Тень от невидимки

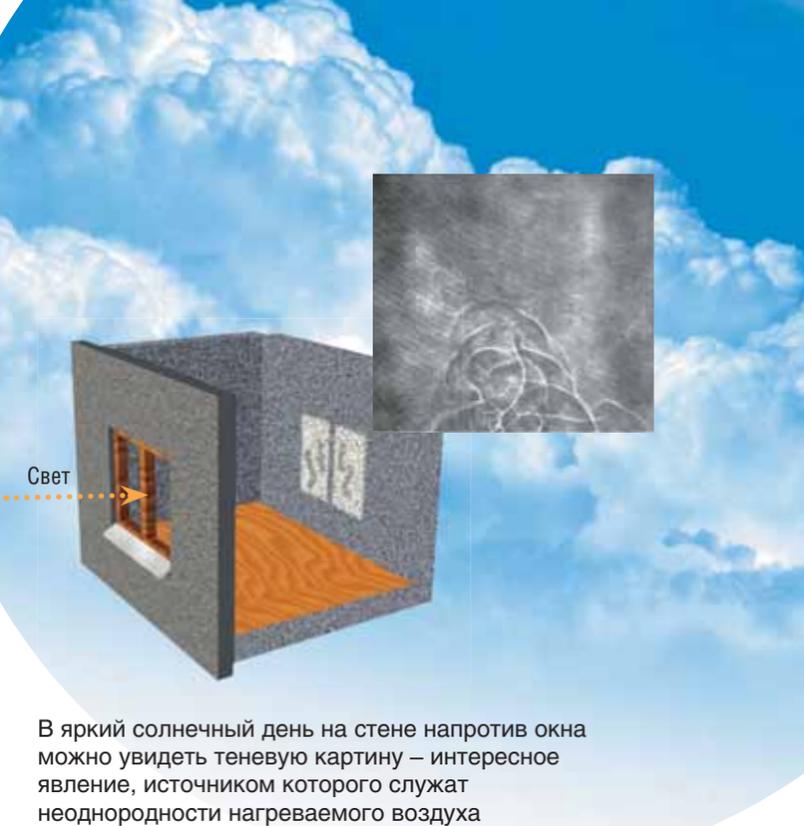
Суть оптических методов аэродинамического исследования заключается в том, что параметры воздушного течения определяют через изменение свойств излучения (например, интенсивности, частоты и фазы колебаний), пропускаемого через эту среду. Используя физические принципы, лежащие в основе того или иного метода, можно определить градиенты давления и плотности газа, скорость течения и т. п.

Оптические методы имеют два неоспоримых достоинства: *бесконтактность* и *панорамность*. Иными словами, они не оказывают воздействия на систему «объект – воздух» и позволяют во многих случаях получать данные в виде изображения сразу по всему полю течения.

Среди оптических методов можно выделить методы *визуализации* потока, которые не менее важны, чем измерения его параметров, потому что дают наглядное представление об общей картине течений.

Одними из первых методов визуализации, получивших ввиду своей простоты очень широкое распространение, стали так называемые *теневые* методы. Вот их простейшая иллюстрация: на стене, освещенной падающим в окно прямым солнечным светом, можно видеть неоднородности воздуха в виде темных и светлых пятен. Дело в том, что нагретый от теплой стены воздух имеет меньшую плотность, а следовательно, и меньший коэффициент преломления. Из-за возникающей разницы с окружающим воздухом проходящие лучи света отклоняются на небольшие углы, при этом в одном месте на стене освещенность увеличивается, а в другом уменьшается (т. е. туда как бы отбрасывается тень этой неоднородности).

В аэродинамических экспериментах солнечный свет, конечно же, не используется. Вместо него применяют



В яркий солнечный день на стене напротив окна можно увидеть теневую картину – интересное явление, источником которого служат неоднородности нагреваемого воздуха

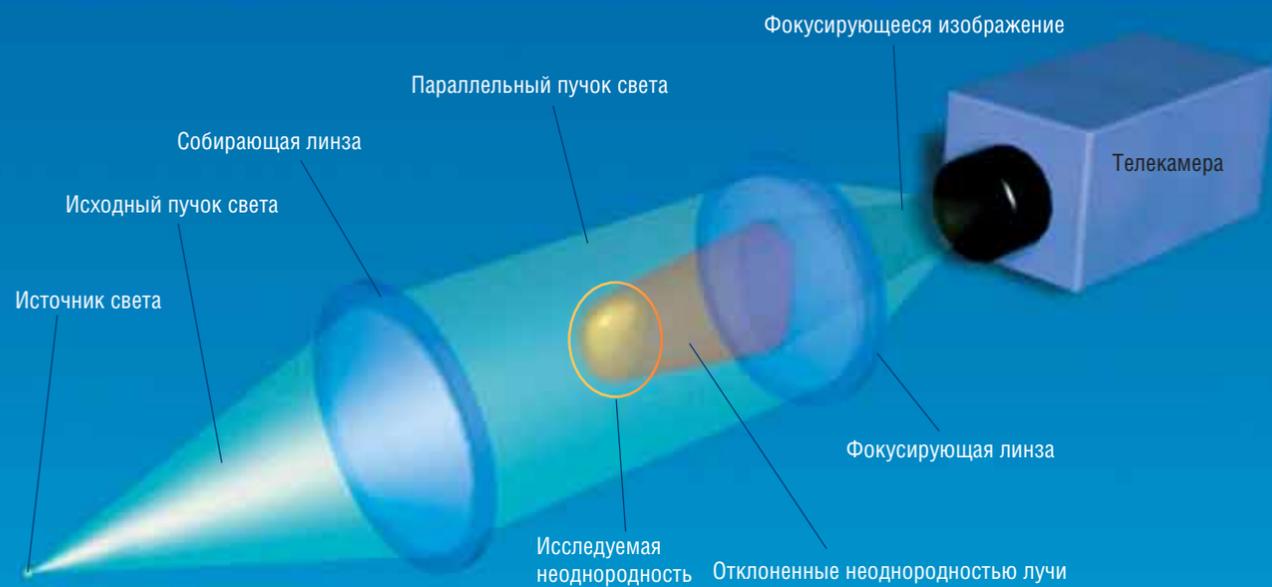
искусственные источники света: лампы накаливания, светодиоды, искровые разрядники и т. п. Суть от этого не меняется – на экране наблюдают тень возмущений среды, вносимых взаимодействием с объектом. Такой метод называют *прямотеневым*.

Если надо уменьшить изображение до размера входного объектива регистрирующей телекамеры, то между изучаемой областью и экраном ставят собирающую линзу. На полученных таким методом фотографиях можно, например, увидеть положение и форму ударных волн и турбулентности в пограничном слое потока вдоль препятствия. Поскольку на ударных волнах перепад плотности очень большой, они выглядят как темные линии, потому что отклоняют излучение очень сильно. В дозвуковых потоках, но при достаточно высоких (околозвуковых) скоростях течения перепады плотности не такие сильные, однако если вдоль хода луча размер неоднородности большой, то луч отклонится существенно, формируя соответствующую теневую картину.

Чем больше перепад плотности, тем большее изменение яркости наблюдается на теневом изображении. Однако при просвечивании слабых неоднородностей интенсивность отклоненных лучей может оказаться столь малой, что их совсем не будет заметно на фоне общей засветки. Для преодоления этой трудности необходимо отсеять фоновое излучение.

Способ отсеивания лишнего света был предложен еще в 1857 г. французским физиком Л. Фуко. Для контроля точности изготовления зеркала он придумал поместить в его фокальной плоскости непрозрачную ширму с острой кромкой. Спустя семь лет этот метод усовершенствовал немецкий физик А. Теплер. Он предложил использовать схему с отсекающей фоновое излучение

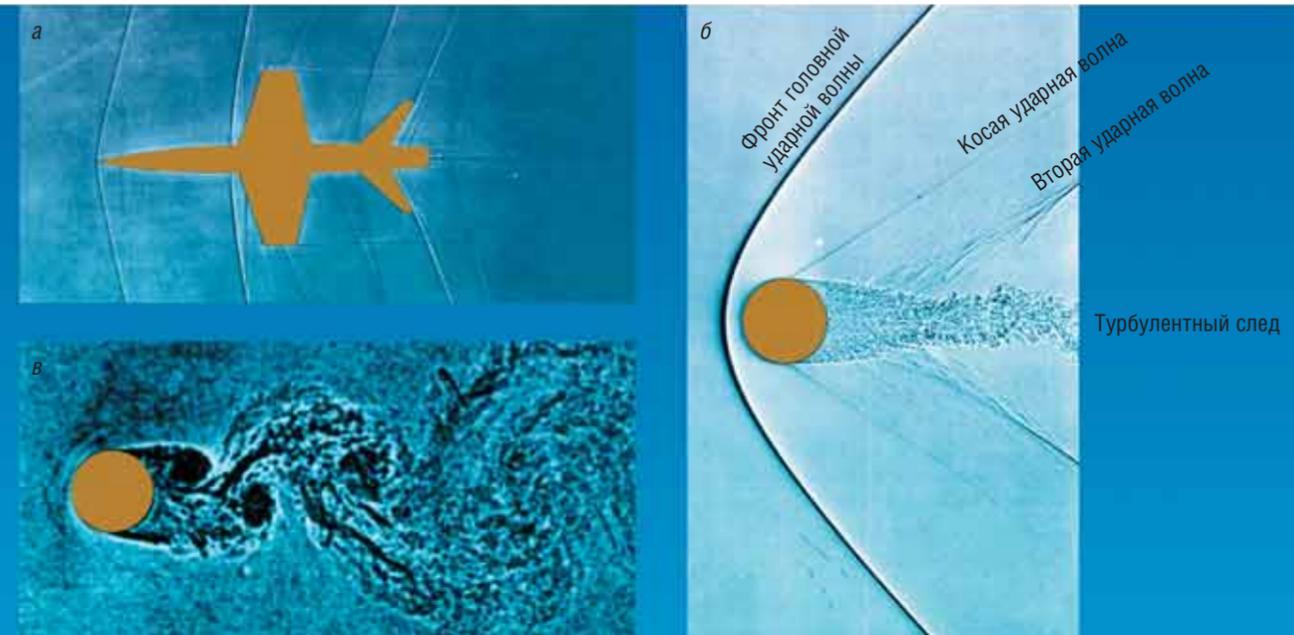
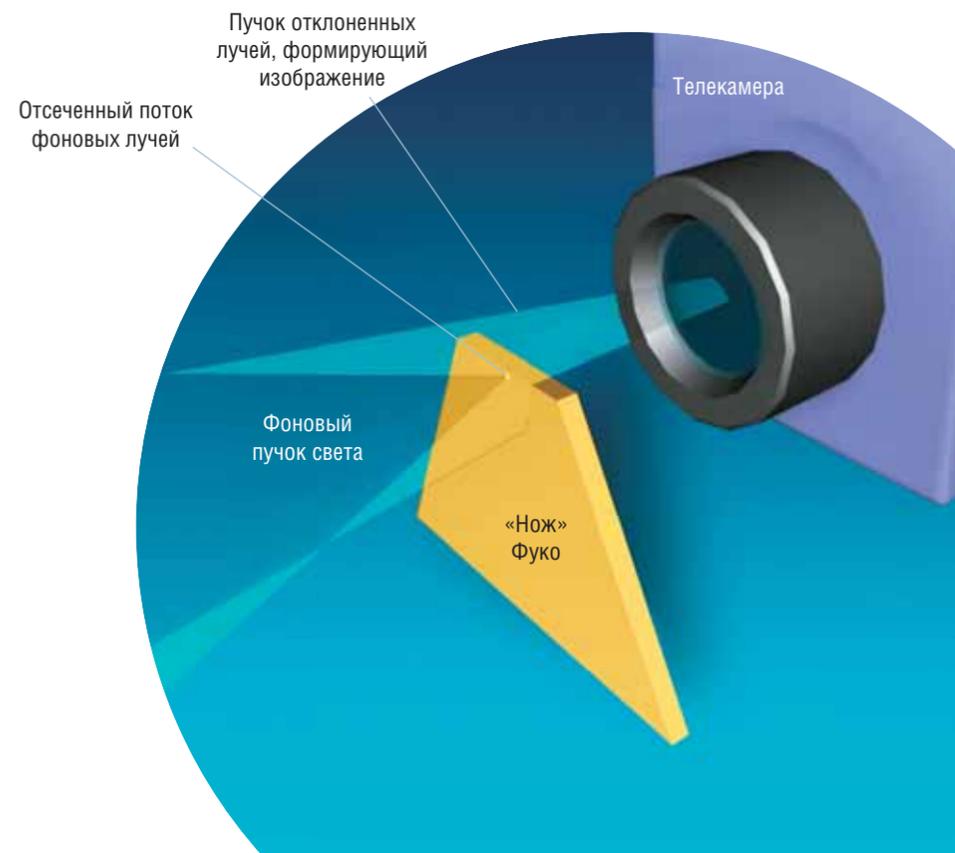




Теневые методы визуализации основаны на явлении отбрасывания тени локальными возмущениями в воздухе. Она возникает потому, что лучи света, проходя через локальное сгущение или разрежение газа отклоняются от прямолинейного хода

Суть *прямотеневого* метода состоит в том, что с помощью светового источника и собирающей линзы генерируется параллельный пучок света, которым «просвечивают» исследуемый участок воздушной среды. При наличии неоднородности совокупность отклоняемых ею лучей формирует изображение, которое фокусируется второй линзой на экран или в телекамеру. Однако в случае слабых возмущений плотности воздуха прямотеневое изображение получается малоcontrastным, с плохо различимыми деталями

«Шлирен-фотография» – теневой метод, дающий более контрастное изображение. Для этого в месте фокусировки фонового излучения помещают непрозрачную пластинку или диск, и оно отсекается этим своего рода «ножом». Но лучи света, отклоненные на исследуемой неоднородности, преимущественно проходят вне точки фокуса, поэтому большинство их минует «нож» и попадает в фотокамеру. Таким образом, соотношение интенсивностей отклоненного и фонового излучений существенно увеличивается, и неоднородности проявляются сильнее – в виде светлых областей на темном фоне



Сверхзвуковой полет неизбежно сопровождается формированием ударных волн с огромным перепадом плотности, выделяющихся на теневых картинах контрастными линиями. Например, ударные волны создаются выступающими частями корпуса модели самолета, «летающей» со сверхзвуковой скоростью 420 м/с (а). При сверхзвуковом полете шара (б) отчетливо виден фронт головной ударной волны (гиперболической формы), а от верхней и нижней точек шара отходят косые (плоские) ударные волны. Сразу за шаром начинается турбулентный след, порождающий слабые возмущения, которые далее сливаются во вторую ударную волну. При дозвуковом (скорость около 210 м/с) обтекании цилиндра (в) след образован из вихрей, попеременно срывающихся то с верхней, то с нижней точки

ширмой – «ножом Фуко» – для поиска включений инородных микрочастиц (в том числе и пузырьков воздуха) в изделиях из стекла, в частности для контроля качества линз. Теплер назвал этот способ *шлирен-методом*, от немецкого «Schlieren» (дефекты, помехи, грязь в прозрачной среде). Немногим позже эта методика стала применяться и для диагностики газовых сред.

Фотографируем воздух

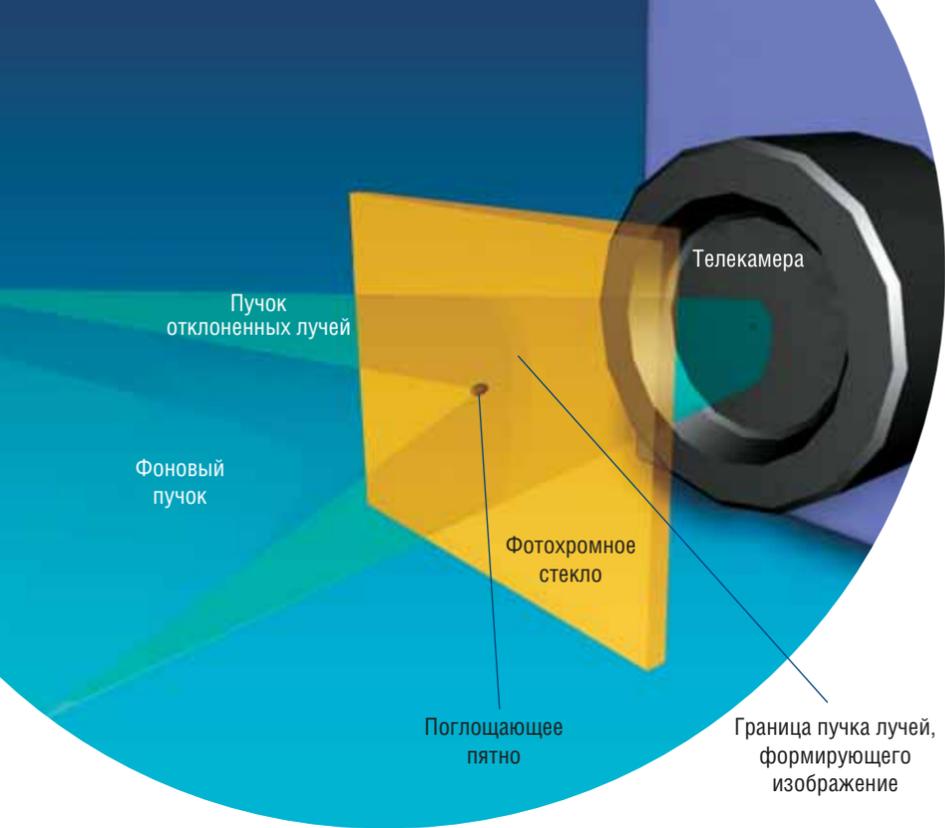
На шлирен-фотографии сверхзвуковой струи с использованием горизонтального «ножа» изображение верхней и нижней половин получается разной яркости. Это происходит из-за того, что формирующие его лучи частично перекрываются «ножом». Поэтому довольно часто вместо пластины используют нанесенную на прозрачное стекло черную точку, добиваясь попадания излучения в ее центр. Она позволяет отсечь только фоновое излучение, фокусирующееся в этом месте.

Применяют и другие маскирующие приспособления, помещаемые в точку фокуса. Поскольку благодаря

поглощению ими лишнего излучения на экране проявляется контрастное изображение (т.е. происходит визуализация невидимого объекта), эти приспособления назвали *визуализирующими элементами*.

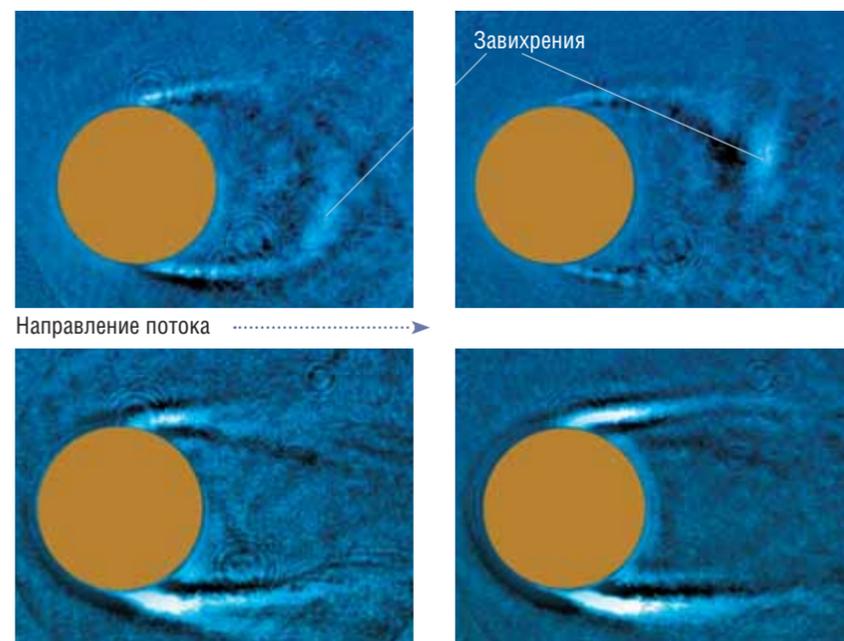
Чем меньше размер «точки» сфокусированного фонового излучения и размер поглощающего это излучение элемента, тем большей чувствительностью обладает схема. Поэтому особый интерес могло бы представлять использование в теневых методах лазеров, поскольку их излучение можно сфокусировать в узкий пучок диаметром в несколько микрон (в сотни раз тоньше человеческого волоса).

Но в реальности попасть узким лучом точно на кромку или в очень маленькую точку практически невозможно: любые колебания (вибрация) шлирен-установки могут нарушить настройки ее ориентации, а неровности кромки, сравнимые по размеру со сфокусированным излучением, будут вносить сильные искажения в картину визуализации. По этой причине применение лазеров не приводило к существенному увеличению чувствительности.



Эффективная модификация шлирен-метода была недавно разработана в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН. Для отсеечения мешающего излучения использованы «адаптивные визуализирующие транспаранты» (АВТ) на основе фотохромного стекла. Это изобретение впервые позволило увидеть очень малые возмущения в газе (менее одной тысячной доли от плотности среды)

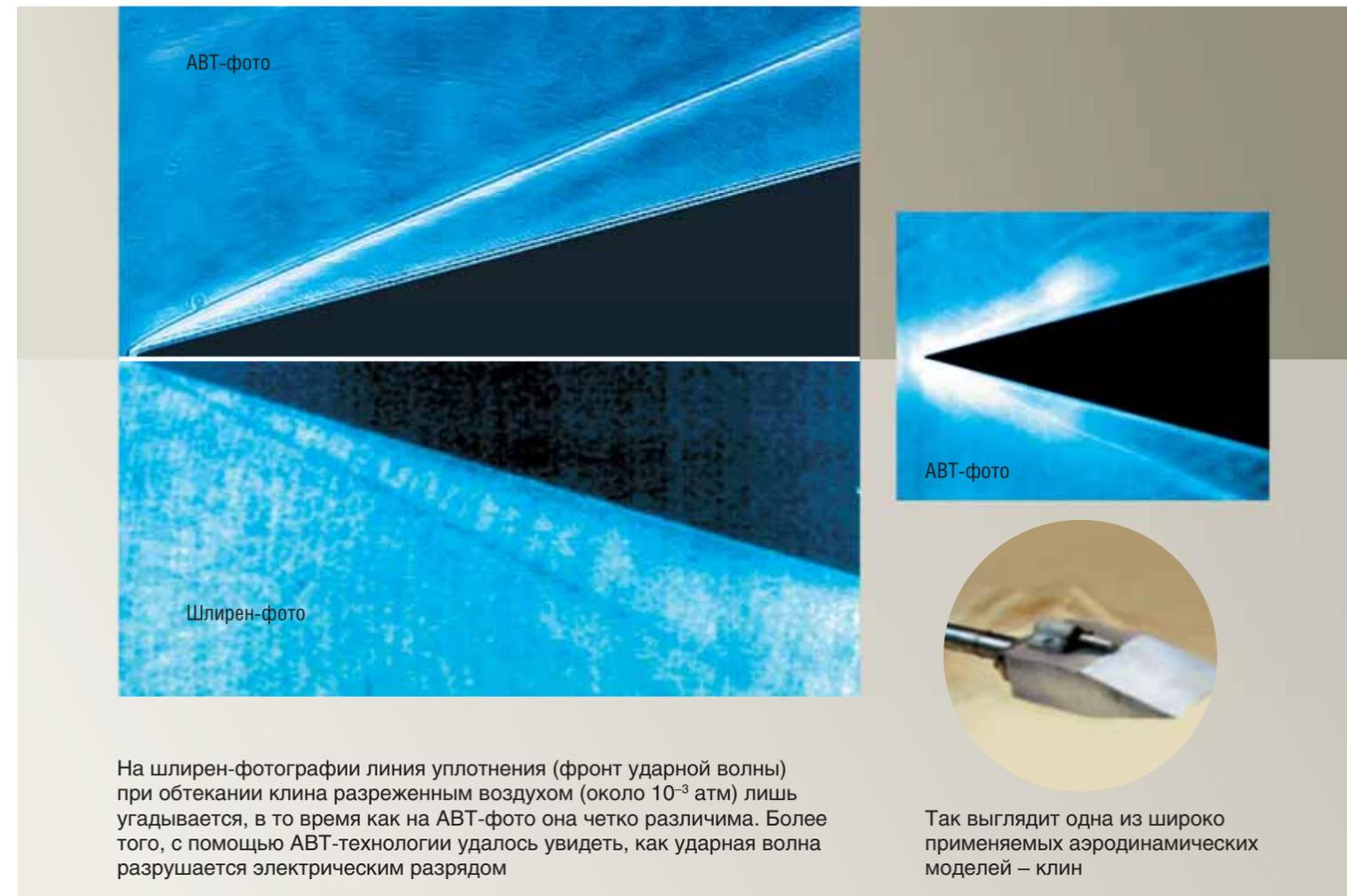
С помощью технологии АВТ возможно в режиме реального времени наблюдать формирование вихревого следа за цилиндром (при скорости 10 м/с) и образование симметричных «усов» без завихрений (1 м/с). Другими панорамными методами эти явления не удавалось визуализировать



Итак, до недавнего времени считалось, что для визуализации теневыми методами есть предел – перепад плотности должен быть не менее 10^{-3} кг/м³ (это примерно тысячная доля от плотности приземного атмосферного воздуха). Этого, однако, недостаточно для исследования дозвуковых течений со скоростью менее 10 м/с и потоков разреженных газов.

Кардинально «добавить чувствительности» методу удалось в 2006 г., когда в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН (Новосибирск) было предложено использовать вместо «ножа Фуко» фотохромное стекло, затемняющееся под воздействием интенсивного света (Павлов и др., 2007). В быту подобные материалы широко применяются для создания так называемых очков-«хамелеонов», которые при ярком солнечном свете защищают глаза, становясь менее прозрачными.

Элегантность метода отсеечения лишнего света с помощью фотохромной пластинки заключается в том, что фоновое излучение, фокусируясь в ее толще, само создает поглощающее его пятно в нужном месте и соответствующего (минимально возможного) размера. Следовательно, отпадает необходимость точной настройки такого теневого прибора, потому что в случае смещения прибора пятно поглощения автоматически создается в новом месте, а в старом исчезает. При этом лучи, отклоненные на неоднородности, не фокусируются на пластинке и поэтому



На шлирен-фотографии линия уплотнения (фронт ударной волны) при обтекании клина разреженным воздухом (около 10^{-3} атм) лишь угадывается, в то время как на АВТ-фото она четко различима. Более того, с помощью АВТ-технологии удалось увидеть, как ударная волна разрушается электрическим разрядом

Так выглядит одна из широко применяемых аэродинамических моделей – клин

имеют крайне низкую интенсивность, не создают себе поглощающего пятна и проходят в регистрирующую камеру (на экран).

Благодаря способности адаптироваться к нарушению настроек прибора такие визуализирующие элементы получили название *адаптивные визуализирующие транспаранты* (АВТ).

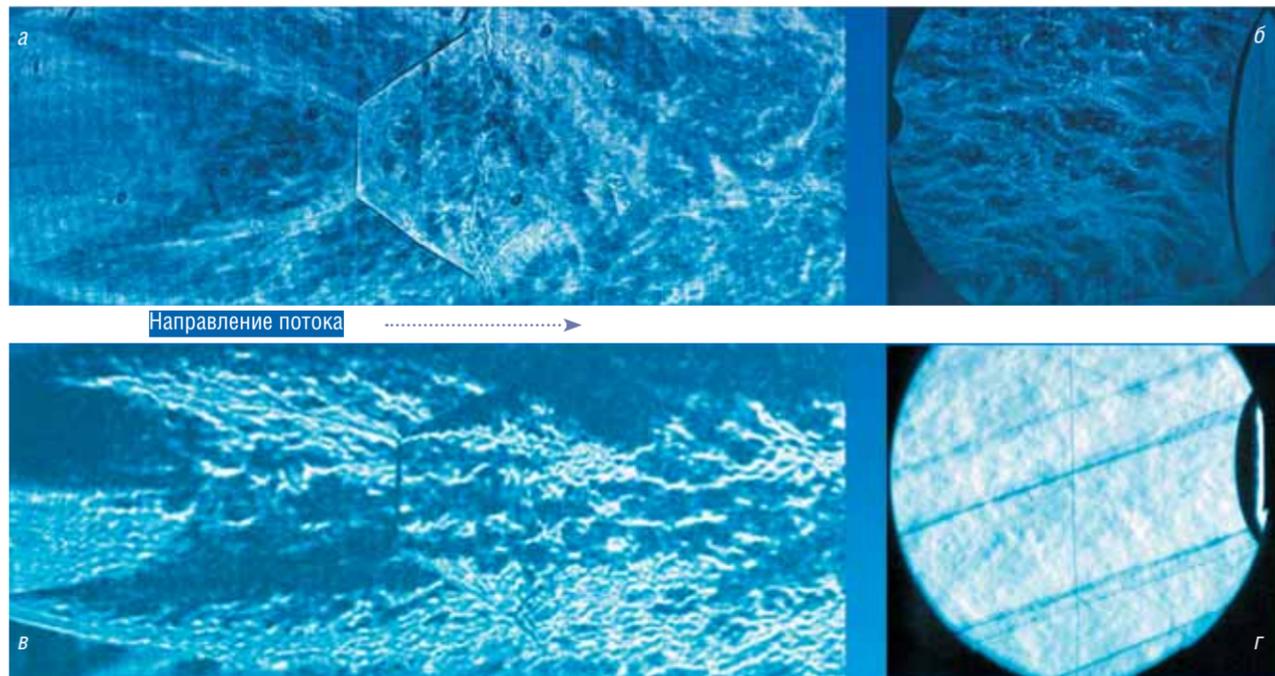
Модификация теневого метода дала впечатляющие результаты: теперь стало возможным увидеть картины течений сильно разреженного газа (давлением менее 100 Па = 0,001 атм) и потоков с очень низкой скоростью (менее 1 м/с). Но область применения новых визуализирующих систем не ограничивается этими двумя случаями.

Так, существенным недостатком классического шлирен-метода является невозможность визуализировать слабые возмущения на фоне сильных, так как последние зашумляют изображение в целом. При использовании АВТ эта проблема отсутствует, поскольку отклоня-

емые на сильных неоднородностях лучи создают на фотохромном стекле свои области поглощающих пятен, независимо от главного (фонового) пятна. Этот эффект приводит к ослаблению контраста изображения резких перепадов плотности воздуха, вследствие чего проявляются детали слабых возмущений.

Уникальные возможности нового метода демонстрируются также на примере исследования процессов, происходящих при поглощении мощного пучка инфракрасных лучей в тонком слое органического материала. Только с помощью АВТ стало возможным в деталях наблюдать явления, сопровождающие образование горючей газовой смеси и ее последующее воспламенение: ударные волны и структуру течения за ними, звуковые волны от воспламеняющихся частиц пыли, вихревые течения в факеле.

Получить детальную картину объекта высокой яркости с помощью прямотеневого или шлирен-метода невозможно из-за крайне низкой чувствительности



Одно из главных достоинств АВТ-фотографии – возможность увидеть слабые возмущения плотности воздушной среды на фоне сильных. Например, внутри сверхзвуковой свободной воздушной струи, выдуваемой из сопла, более четко видно систему и контуры ударных волн (а), а при сверхзвуковом обтекании торца цилиндра можно увидеть в деталях практически всю область течения за ударной волной (б). В то же время при использовании традиционного метода с «ножом Фуко» изображение сильно зашумляется (в) либо полностью заглушается (г)

первого и очень высокой чувствительности второго. Однако нелинейность поглощения света фотохромным АВТ дает экспериментаторам прекрасную возможность исследовать разные процессы без замены визуализирующих элементов и перестройки оптической схемы.

Фотохромные материалы были известны давно, но лишь несколько лет назад их догадались применить для оптической диагностики газовых потоков. И это элегантное и простое по своей сути техническое решение, найденное новосибирскими учеными из Института теоретической и прикладной механики СО РАН, помогло разрешить ряд серьезных проблем, связанных с техникой визуализации.

Изобретение способной к адаптации системы визуализации существенно расширило возможности экспериментаторов, и уже на начальной стадии разработки были получены уникальные результаты мировой значимости. За это АВТ-метод был включен в список главных достижений Российской академии наук за 2007 г.

Но на этом история нового метода не заканчивается: у него есть мощный потенциал для дальнейшего повышения чувствительности и быстродействия.

Литература
Харитонов А.М. *Техника и методы аэрофизического эксперимента. Ч. 1: Аэродинамические трубы и газодинамические установки: Учебник.* Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. 220 с.

Бойко В.М., Оришич А.М., Павлов А.А. и др. *Теоретические основы и методы оптической диагностики в аэрофизическом эксперименте: Учеб. пособие.* Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 2008. 412 с.

Холдер Д., Норт Р. *Теневые методы в аэродинамике.* М.: Мир, 1966.

Оптические методы исследований в баллистическом эксперименте. Отв. ред. Г.И. Мишин. Л.: Наука, 1979.

Ван-Дайк М. *Альбом течений жидкости и газа.* М.: Мир, 1986.

Ландсберг Г.С. *Оптика.* М.: Наука, 1976.

Поуп А., Гойн К. *Аэродинамические трубы больших скоростей.* М.: Мир, 1968.

Павлов А.А., Павлов А.А., Голубев М.П. *Использование фототропных материалов в качестве адаптивных визуализирующих транспарантов в теневых приборах // Труды IX Международной научно-технической конференции ОМИП-2007 (Москва, 26–29 июня 2007).* М.: Изд-во МЭИ, 2007. С. 170–173.



В центр пластины снизу направляется ИК-излучение, очень быстро нагревающее ее тонкий слой и приповерхностный воздух. Оргстекло испаряется, а быстро расширяющийся воздух порождает ударную волну, распространяющуюся от пластины

Уникальные возможности нового оптического метода демонстрируются в эксперименте по испарению и последующему возгоранию органического стекла под действием мощного потока инфракрасных лучей.

На АВТ-фотографиях (внизу справа) зафиксировано: взрывное сгорание пылинок (а); структура потоков внутри факела (б)



Пары оргстекла смешиваются с сильно разогретым воздухом, образуя взрывоопасную смесь, которая быстро воспламеняется



Центр воспламенения
Ударная волна
Сгорающие пылинки
Сферические фронты звуковых волн от сгорающих пылинок



Продвигающийся фронт паров оргстекла образует горящий факел



б



Неотъемлемой частью степных ландшафтов Евразии являются курганы – насыпные холмы округлой формы, перекрывающие одно или несколько древних погребений. Наряду с бесценным археологическим материалом в курганах сохраняются природные объекты, несущие информацию о состоянии окружающей среды в те далекие времена, когда они были сооружены. Один из таких объектов – погребенная почва, или участок ненарушенного почвенного покрова, перекрытый насыпью. На долгие годы он был практически исключен из почвообразовательного процесса, в результате чего произошла его своеобразная «консервация». Не ведая того, древние обитатели степей оставили для нас «капсулы времени» – послания из прошлого, рассказывающие об изменениях природных условий в евразийских степях на протяжении последних 5 тыс. лет – именно столько насчитывает история курганной погребальной традиции



А. С. ЯКИМОВ

Погребенные почвы – ПОСЛАНИЕ ИЗ ПРОШЛОГО

Ключевые слова: погребенная почва, курган, реконструкция, археологическое почвоведение, этнокультурные взаимодействия.
Key words: paleosoil, barrow, reconstruction, archaeological soil science, ethno cultural interactions

Раскопки Большого Синташтинского кургана (слева). Челябинская область, Бредский р-н. Археологические исследования поселения Мергень-6 (справа). Тюменская область, Ишимский р-н

ЯКИМОВ Артем Сергеевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института криосферы Земли СО РАН (Тюмень). Председатель Совета молодых ученых Тюменского научного центра. Автор более 40 научных работ





«Царский курган» в Ингальской долине – крупнейшем археологическом памятнике юга Тюменской области. На территории долины насчитывается около 600 археологических объектов, самый древний из которых относится к мезолиту



В курганном могильнике «Перегрузное» встречаются погребения разных исторических эпох: нижележащее относится к середине бронзового века, вышележащие – к его концу.
Слева – погребение середины бронзового века. Волгоградская область, Октябрьский р-н, 2002 г.

В середине XX в. в рамках почвоведения сформировалась новая научная дисциплина – палеопочвоведение, которая изучает почву, погребенную под естественными и искусственными насыпями. Являясь настоящим природным архивом, она содержит уникальную информацию о динамических и эволюционных изменениях окружающей среды на протяжении сотен и даже тысяч лет.

Особый интерес ученых вызывают почвы, погребенные под археологическими памятниками (курганами, крепостями, оборонительными валами), а также культурные слои городищ и поселений. Результаты их изучения дополняют исторический и археологический материал, приближая исследователей к пониманию того, как изменения природной среды сказывались на хозяйственной деятельности человека, его расселении и миграциях, экономических и политических процессах в древних обществах.

На волне изучения этих погребенных почв в 1990-х гг. возникло и стало бурно развиваться новое научное междисциплинарное направление – археологическое почвоведение. Используя традиционные методы почвоведения и смежных ему дисциплин – палинологии, микробиологии, микологии, геофизики – ученые

получают данные о динамике и эволюции почв и природных условий в различные исторические периоды за последние 5 тыс. лет.

Природные архивы

Основной метод изучения погребенных почв – почвенно-археологический. Сопоставляя различные характеристики древней и современной почв в пределах археологического памятника, возможно реконструировать природные условия, при которых он создавался.

Исследование древней почвы начинается с полевого описания ее морфологического строения и отбора образцов для дальнейшего исследования. Особое внимание уделяется изучению физико-химических свойств почвы: гранулометрическому, катионно-анионному, макро- и микроэлементному составам; содержанию органического углерода (гумуса), легкорастворимых солей, карбонатов (CaO_3) и гипса (CaSO_4); водородному показателю (pH).

Затем изучается биологическая составляющая почвы. Микроорганизмы, в том числе грибы, сохраняющиеся в погребенной почве в анабиозе или в виде спор, служат прекрасным маркером состояния природной среды

Первые курганы появились на рубеже IV—III тыс. до н.э., в эпоху энеолита, последние – в XV в., в период развитого средневековья. Возводились курганы, как правило, для представителей племенной знати: вождей, жрецов, военачальников. Высота насыпи зависела от социального статуса умершего. Некоторые «царские» курганы достигают двадцати и более метров – это почти высота девятиэтажного дома! Нередко в уже существующие курганы производились подхоронения – так называемые «впускные» погребения. Порой их разделяли сотни и даже тысячи лет. В разрезе такой курган напоминает слоеный пирог, где каждое вышележащее погребение моложе предшествующего. Насыпь над погребальной камерой перекрывала участок ненарушенного почвенного покрова, консервируя его в состоянии на момент возведения кургана. Поскольку курганный погребальный обряд существовал около 5 тыс. лет на обширной территории, сегодня ученые располагают колоссальным архивом данных об окружающей среде древности, записанных в памяти погребенных почв



Изготовление почвенных шлифов проводится на специальном оборудовании в лаборатории микроморфологии почв Трирского университета (Германия). Справа – готовый шлиф, представляющий из себя тонкий срез почвы, приклеенный к стеклу

Почва – сложноорганизованный природный объект. На макроуровне почвенный профиль изучается как единое целое; на мезоуровне исследуются генетические почвенные горизонты, составляющие почвенный профиль; микроуровню соответствуют отдельные части почвенных горизонтов, невидимые невооруженным глазом. Строение почвы на макро- и мезоуровнях изучают непосредственно в почвенных разрезах. Микроморфологические исследования проводят в лаборатории, под оптическим микроскопом, изготавливая специальные препараты (шлифы) из образцов, взятых из почвенных горизонтов

(Демкина и др., 2000). Помещенные на питательные среды в лаборатории, микроорганизмы и грибы из погребенных почв начинают развиваться и давать потомство. Большинство этих видов существует и в настоящее время, а поскольку условия их обитания (температура, влажность, засоленность почв) хорошо известны, можно провести качественную реконструкцию древних природных условий.

Помимо микробных сообществ в почвах хорошо сохраняются споры и пыльца растений, а в ряде случаев и семена. Методы палинологии (науки, изучающей пыльцу и споры) дают возможность строить климатические диаграммы, отражающие изменения природных условий, в которых происходило развитие почв. Полученные данные дополняют почвенно-археологические исследования, а в ряде случаев и восполняют хронологические пробелы в палеоклиматических реконструкциях.

Установить возраст перекрытия почвы насыпью кургана помогает



органическое вещество почвенных горизонтов. После сооружения насыпи поступление новой органики в почву практически прекращается, и с этого момента радиоактивный изотоп углерода начинает распадаться. На измерении концентрации этого изотопа, чей период полураспада составляет 5730 ± 40 лет, основан радиоуглеродный метод датирования. Он позволяет получить абсолютный возраст перекрытия почвы и, как следствие, более точный возраст археологического памятника.

Важную научную информацию дает изучение магнитных свойств древней почвы. Они определяются количеством железосодержащих минералов, большинство из которых являются вторичными, образованными за счет жизнедеятельности особых железобактерий. Существует прямая зависимость численности этих бактерий, а значит, и концентрации в почве железосодержащих минералов, от изменения среднегодовой нормы атмосферных осадков. В настоящее время разработан алгоритм вычис-

ления количественного показателя среднегодовой нормы осадков по величине прироста магнитной восприимчивости степных почв.

От бронзы до средневековья

Почвенно-археологические исследования были начаты более сорока лет назад в степях Нижнего Поволжья сотрудниками Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (Пушино) совместно с Волгоградским государственным университетом и Волгоградским педагогическим институтом. За это время сформировалась научная школа археологического почвоведения, подготовившая не одно поколение специалистов. Уже много лет сотрудники Института криосферы Земли СО РАН (Тюмень), совместно с коллегами из институтов и вузов Тюмени, Кургана, Челябинска, проводят исследования курганных могильников на территории лесостепного и степного Зауралья.

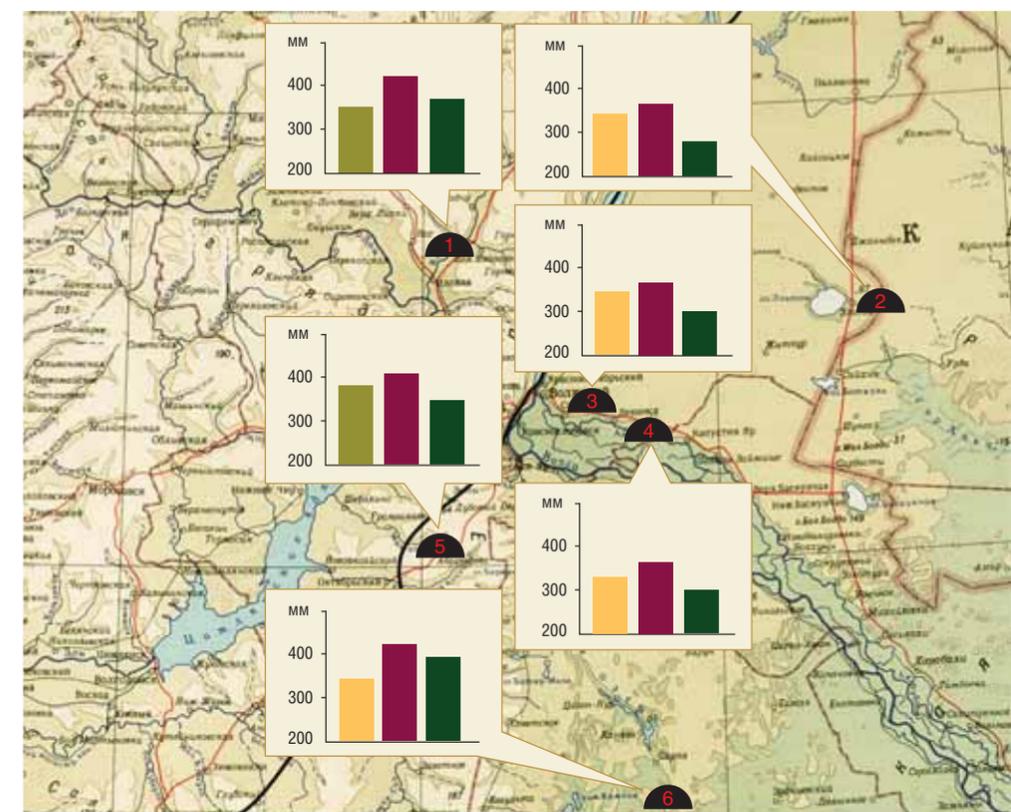
Полученные в ходе полевых и лабораторных работ данные об изменениях почв в эпохи бронзы, раннего железа и средневековья помогли ученым скорректировать представления о природных процессах, происходивших на территории восточно-европейских степей, и их влиянии на жизнь древних обществ.

Так, было установлено, что в первой половине III тыс. до н.э. (бронзовый век) в нижневолжских степях произошла аридизация климата, т.е. усиление его засушливости (Демкин и др., 2001). Темно-каш-

Реконструированные значения среднегодовой нормы атмосферных осадков в различные исторические периоды на территории Нижнего Поволжья по данным изучения магнитных свойств почв.
По: (Якимов и др., 2007)



Разрез курганной насыпи с погребенной почвой. Курганская область, Звериноголовский р-н, 2007 г.



■ Бронзовый век, III—II тыс. до н.э.
 ■ Современность
■ Раннежелезный век, I—IV вв. н.э.
 Граница природных зон
■ Развитое средневековье, XIII—XIV вв.
● Курганные могильники:
 1 – Авиллово, 2 – Эльтон, 3 – Бахтияровка, 4 – Малаявка, 5 – Абганерово, 6 – Шарахалун

тановые и каштановые почвы постепенно эволюционировали в каштановые и светло-каштановые, а границы природных зон сдвинулись к западу и юго-западу. Дальнейшее развитие процесса аридизации во второй половине III тыс. до н.э. привело к деградации почв – значительному их засолению и резкому уменьшению органического вещества. В результате на рубеже III–II тыс. до н.э. в нижневолжских степях сформировался уникальный тип почв, не имеющий современных аналогов, – эродированные каштановидные почвы. Они заняли ведущее место в почвенном покрове региона. Большинство исследователей считает, что аридизация климата на рубеже III–II тыс. до н.э. вызвали в восточно-европейских степях масштабный экологический кризис, отразившийся на хозяйственном укладе древних обществ и заставивший их перейти от полуседлого образа жизни к кочевому скотоводству (Борисов и др., 2006).

В эпоху средневековья, с конца XI до середины XIV в., в нижневолжском регионе произошла оптимизация природных условий. В научной литературе подобный феномен известен как «средневековый климатический оптимум», или «второй оптимум голоцена». Он имел глобальный характер, затронув все Северное полушарие Земли. Условия для жизни в этот период были одними из самых благоприятных за последние 5 тыс. лет (Демкин и др., 2007). Среднегодовая норма осадков превышала современную на 30–80 мм, почвы отличались более высоким содержанием органического вещества, меньшей засоленностью, более глубокой аккумуляцией карбонатов и гипса. Преобладали каштановые почвы, а не более засушливые светло-каштановые, как



Школьники и студенты – постоянные участники археологических работ. Справа – отбор почвенных образцов. Внизу – совещание почвоведов на объекте исследования



сейчас. Особенно хорошо это проявилось на границе природных зон.

Максимальное проявление «средневекового климатического оптимума» приходится на конец XII – начало XIV в. Именно в этот период кочевое население переходит к полуседлому образу жизни, начинает осваивать земледелие. Впервые в нижневолжских степях появляются города, возникает уникальное государство кочевников – Золотая Орда.

В малом ледниковом периоде

Как известно, в конце XIV в. во всем Северном полушарии Земли началось ухудшение природных условий. На смену «средневековому климатическому оптимуму» пришел так называемый «малый ледниковый период», продолжившийся до середины XIX в. Среднегодовая температура понизилась на 1–2 °С, участились экстремальные природные явления. В степях установились более засушливые природные условия, а природно-климатические зоны постепенно сместились с юга на север.

Сокращение среднегодовой нормы осадков вызвало изменения в почвенном покрове. Подтип почв, правда, остался прежним, но они стали более засушливыми, что не могло не сказаться на биологической продуктивности степи. В это же время экономика Золотой Орды начала испытывать трудности, в обществе нарастала политическая нестабильность. В начале XV в. это уникальное в мировой истории государство прекратило свое существование и население вернулось к традиционному кочевому образу жизни.

С наступлением «малого ледникового периода» подошла к концу пяти-тысячелетняя история курганного погребального обряда. Однако летопись природной среды, сохранившаяся в «капсулах времени», на этом не заканчивается. С XVI в. восточно-европейские степи и лесостепи становятся ареной проведения активной завоевательной политики Русского государства. На его новых рубежах возникают различные фортификационные сооружения: крепости, сторожевые башни, оборонительные валы. Под ними хорошо сохраняются погребенные почвы, так что исследователи имеют возможность проследить динамику природных условий региона вплоть до наших дней.

Процессы потепления и похолодания тесно переплетаются друг с другом, и разделить их зачастую непросто. Большой резонанс в обществе получила проблема глобального потепления. Всех интересует вопрос: в каком климате будет жить человечество в ближайшем будущем?

К сожалению, в последние годы эта тема приобрела явную политическую окраску, мешающую пониманию истинной причины происходящего. Выводы об изменении климата в последнее столетие зачастую основаны на недостаточно проверенных фактах, а потому они в некоторой степени условны.

Исследования палеопочв, особенно в исторические периоды с неблагоприятными природными условиями, позволяют глубже понять причины негативных климатических явлений, их направленность и особенности воздействия на человека, изучить механизмы адаптации к ним древнего населения. Полученная информация может оказать неоценимую помощь в прогнозировании подобных ситуаций и, что более важно, в разработке стратегии их преодоления с наименьшим ущербом для природы и общества.

В публикации использованы фото автора
Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 03-04-48135)

Литература

Борисов А.В., Демкина Т.С., Демкин В.А. Палеопочвы и климат Ергеней в эпоху бронзы, IV–II тыс. до н.э. М.: Наука, 2006. 210 с.

Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении истории природы и общества. Пуцино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1997. 213 с.

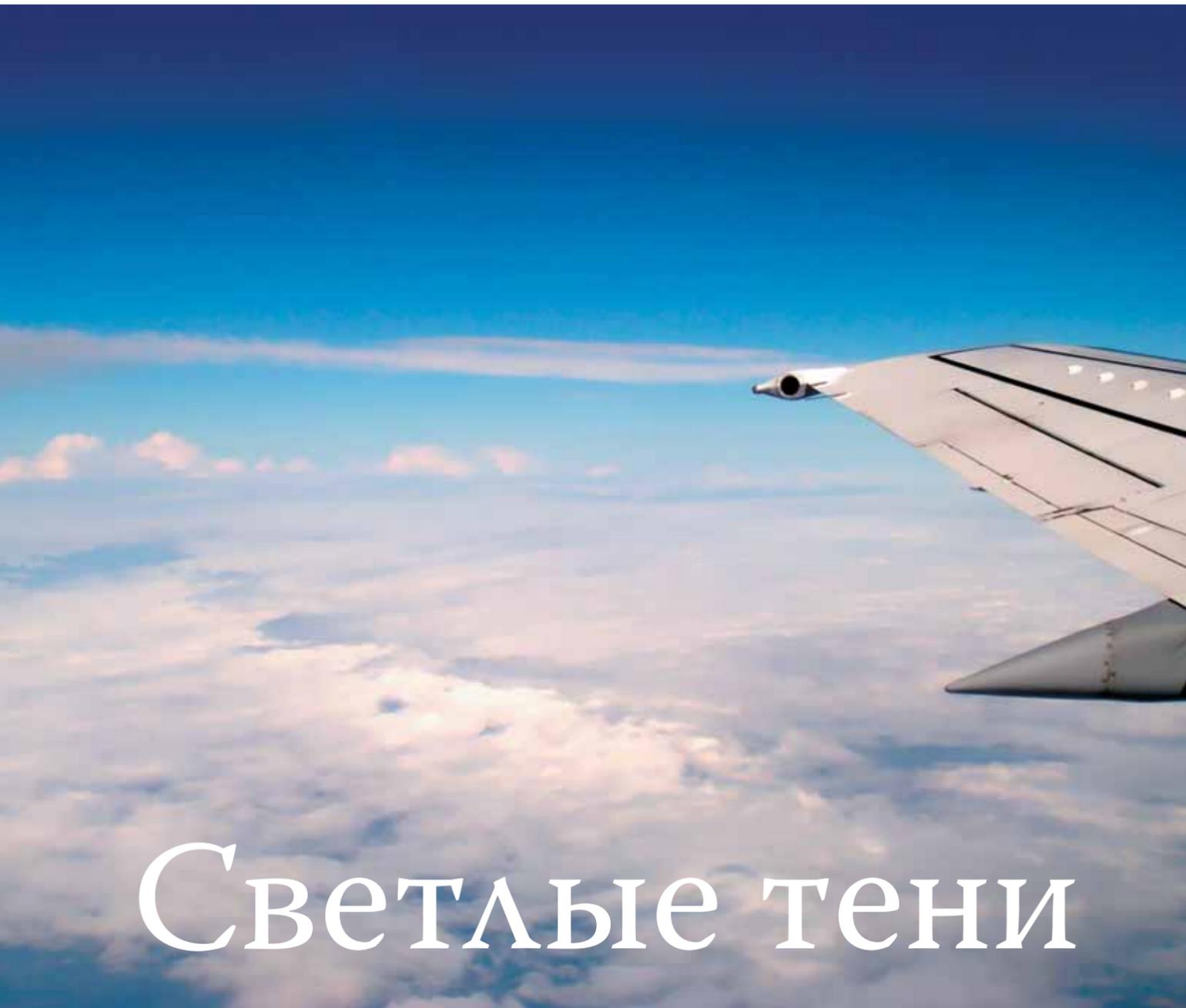
Демкина Т.С., Борисов А.В., Демкин В.А. Микробные сообщества палеопочв археологических памятников пустынно-степной зоны // Почвоведение. 2000. № 9. С. 1117–1126.

Демкин В.А., Якимов А.С., Алексеев А.О., Каширская Н.Н., Ельцов М.В. Палеопочвы и природные условия степей Нижнего Поволжья в золотоордынское время (XIII–XIV вв. н.э.) // Почвоведение. 2006. № 2. С. 133–144.

Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М.: Наука, 1992. 144 с.

Якимов А.С., Демкин В.А., Алексеев А.О. Природные условия степей Нижнего Поволжья в эпоху средневековья (VIII–XIV вв. н.э.). М.: НИИ-Природа, Фонд «Ифосфера», 2007. 228 с.





Светлые тени

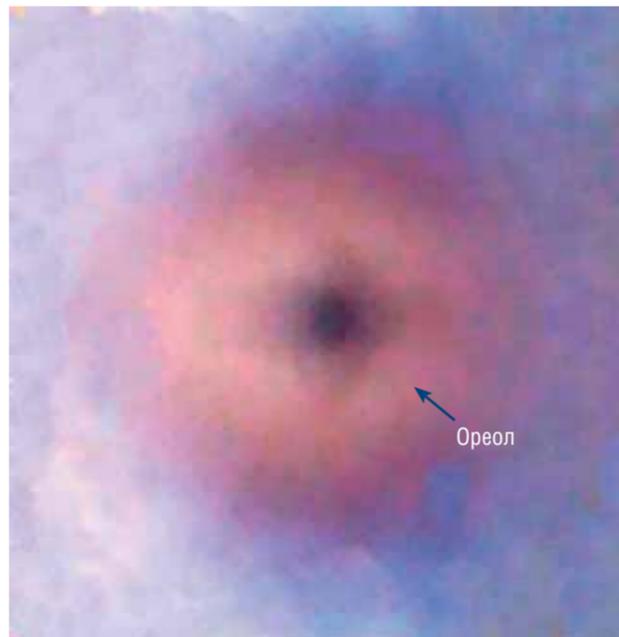
Ключевые слова: рассеяние света, радуга, дифракция, gloria.
Key words: light scattering, rainbow, diffraction, gloria

Многие научные статьи изобилуют формулами, которыми авторы иногда неоправданно усложняют свой текст, хотя бывает полезно сначала объяснить простыми словами, в чем состоит идея публикации. Кстати, А. Эйнштейн утверждал, что нет такой физической идеи, которую нельзя было бы объяснить без формул (впрочем, именно его некоторые идеи без формул понять трудно). В предлагаемой статье тени и свет, свойства которых так привычны и, казалось бы, понятны каждому с детства, предстают сложнейшим (но объясняемым без формул) физическим явлением, а иллюстрацией их необычности оказываются тени самолетов на облаках и их ореолы

Прямолинейность распространения света ученым античности представлялась очевидной. Эмпедокл (V в. до н.э.) и Евклид (III в. до н.э.) описывали оптические явления, включая прямолинейность и даже преломление лучей света. Но античные философы не могли даже отдаленно представить себе сложность задачи, за которую так отважно взялись. Некоторые проблемы рассеяния света материальными телами аналитически не решены до сих пор, хотя построены великолепные, но весьма сложные теории. Фундаментальный труд «Основы оптики» Нобелевского лауреата М. Борна и Э. Вольфа, изданный в 1968 г. и переведенный на русский язык в 1973 г., содержит 700 страниц, обильно усеянных сложнейшими формулами. Неспециалисту здесь делать нечего, но объяснить особенности рассеяния света, не прибегая к анализу, трудно. Возвращаясь к прямолинейному лучу света, можно напомнить, что он распространяется прямолинейно лишь в вакууме, не возмущенном гравитацией массивных объектов, или в однородной среде. Но если среда неоднородна, луч отклоняется в сторону большей плотности. Таких подробностей наши предки не знали, но могли заподозрить это в любые времена, любясь сплюснутым диском Солнца на восходе и закате. Только в XVII в., благодаря новым теоретическим и экспериментальным работам Р. Декарта, Г. Галилея и других ученых началось стремительное развитие геометрической оптики. Много важнейших работ было выполнено в XVII–XVIII вв., а более современное развитие геометрическая оптика получила в XIX и начале XX вв.



КСАНФОМАЛИТИ Леонид Васильевич – доктор физико-математических наук, Заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник Института космических исследований РАН (Москва). Автор 17 космических экспериментов по исследованиям Венеры, Марса и кометы Галлея. Автор около 360 научных и научно-популярных публикаций



В ясный день тень от удаленного предмета окружена ярким ореолом. Тень самолета сильно размыта и лишь угадывается, но ореол виден хорошо. Он возникает благодаря дифракции света на объекте, размеры которого намного больше длины волны света. Снимок сделан с высоты около 10 км, высота верхней границы облаков, на которых видны ореол и тень, около 3—4 км

Однако с укреплением позиций волновой теории и развитием математических методов анализа все более очевидной становилась крайняя сложность процессов рассеяния света на малых и больших препятствиях.

Ореол вокруг тени

Одним из первых, кто понял, как устроен край тени, образующейся при падении света на границу плоскости, стал выдающийся немецкий физик Г. Кирхгофф. Он исходил из представлений о свете как об электромагнитных колебаниях крайне высокой частоты. Кирхгофф установил, что переход на краю тени, в очень узкой зоне, происходит плавно, да еще и с затухающими периодическими колебаниями.

Впрочем, к процессу образования тени ученые обратились задолго до Кирхгоффа. В начале XIX в. А. Френель рассматривал явление дифракции – небольшие отклонения от прямолинейности луча. Последователями, на основе его теории, было предсказано поразительное

явление, которое затем экспериментально подтвердил Д. Араго: вокруг удаленной тени от крупного предмета появляется светлое пятно. Пятно плавно ослабевает от центра, окружая тень ярким ореолом. Например, яркий ореол появляется вокруг скользящей по земле тени от высоко летящего воздушного шара.

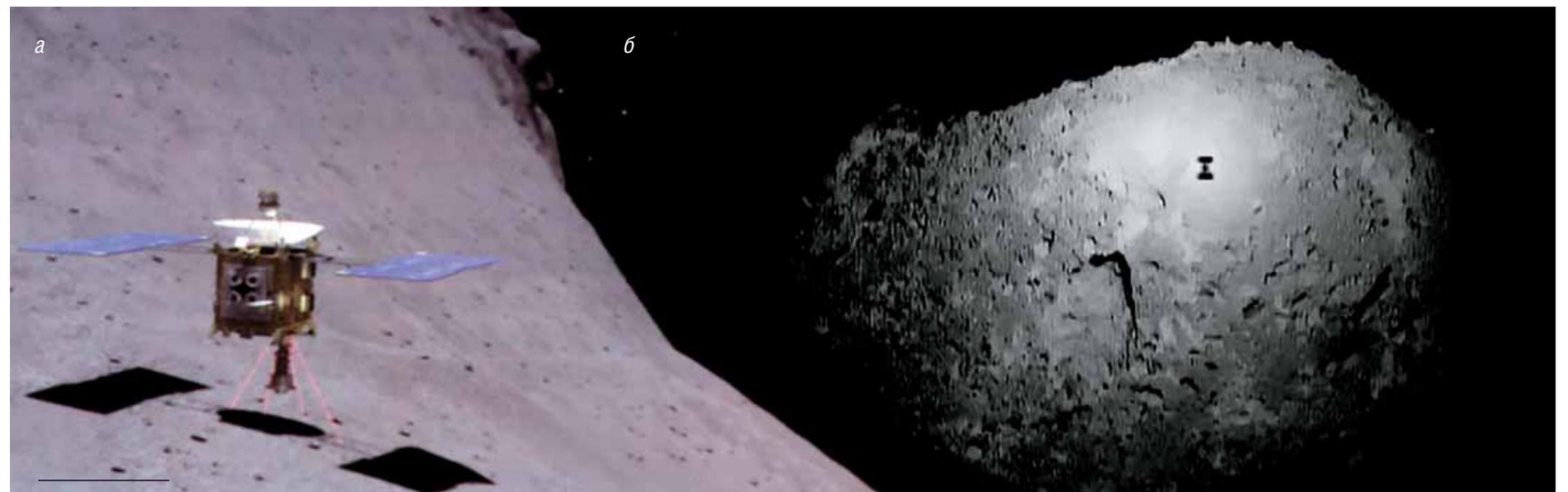
Вот только заметить его гораздо легче из гондолы воздушного шара, чем с земли. Или с самолета: в солнечную погоду тень самолета постоянно окружена ярким ореолом, который хорошо заметен на облаках, особенно когда самолет летит еще не слишком высоко. Наиболее наблюдательные авиапутешественники часто любят этим зрелищем. Впрочем, при благоприятных атмосферных условиях ореол, окружающий тень, можно увидеть и с высоты около 10 км, где обычно проходят трассы воздушных судов.

Рассеяние света в атмосфере – это то, что происходит вокруг нас постоянно. Мельчайшие капли воды в облаках, в тумане, снежинки и пы-



Тень самолета на облаках и окружающий ее ореол, который вызван дифракцией света на крупном объекте. Происхождение цветных колец имеет другую природу. Контраст деталей подчеркнут при обработке снимка. Снимок сделан с меньшей высоты, чем фото на стр. 56 (слева)

На снимках астероида Итокава (б) видна тень от исследовательского космического аппарата «Хаябуса» (а), с которого и были сделаны снимки. Тень окружена небольшим светлым ореолом, образованным в результате дифракции солнечных лучей. Происхождение прилегающих светлых пятен обусловлено другим эффектом – астрономическим эффектом оппозиции. Высота аппарата над поверхностью около 3 км. Фото японского космического агентства JAXA



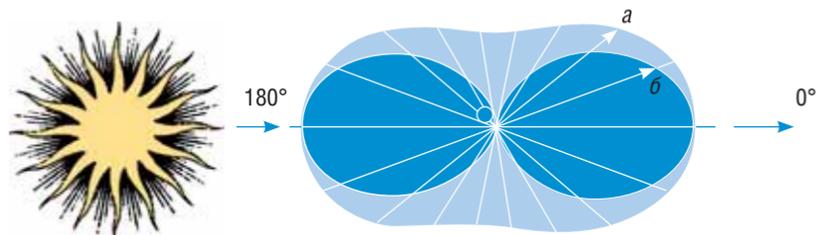
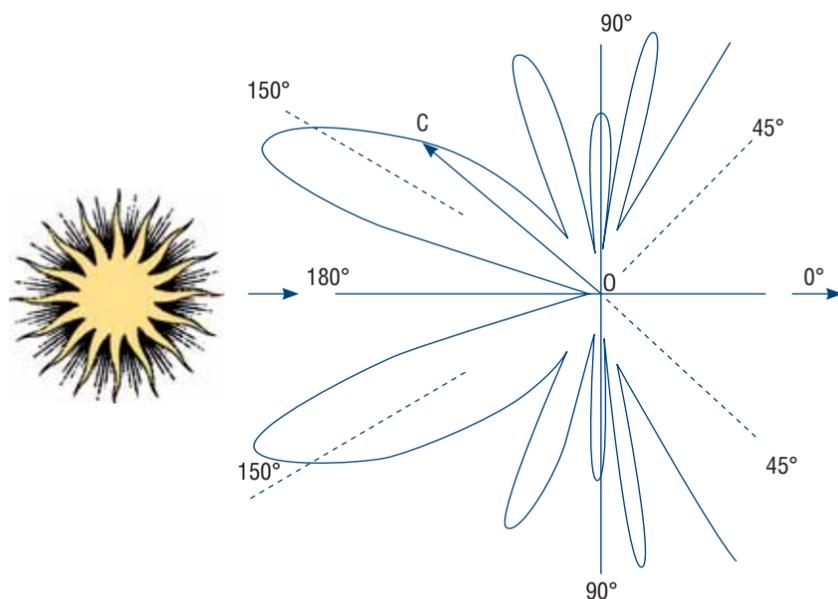


Диаграмма рассеяния света на частицах, много меньших длины волны. Длина лучей на индикатрисе представляет интенсивность луча, рассеянного под соответствующим углом. При рассеянии света на сферической частице меньшей длины волны диаграмма имеет форму овала в случае неполяризованного (а) или «восьмерки» для поляризованного (б) света

Рассеяние монохроматического поляризованного света на сферической диэлектрической частице с длиной окружности по экватору, равной восьми световым длинам волн, происходит главным образом вперед (эта правая часть диаграммы на рисунке не показана). Обратное к источнику свет почти не отражается. Луч ОС – интенсивность света, отраженного под определенным углом (в данном случае, 140°) к направлению излучения. Подобное рассеяние хорошо знакомо каждому: пылающие закаты – это излучение, рассеянное вперед, к наблюдателю



Рассеяние света на препятствиях – это отклонение пучка лучей под разными углами от первоначального направления. Угловую диаграмму распределения интенсивности рассеянных лучей называют индикатрисой рассеяния. Наличие многочисленных максимумов (лепестков) диаграммы указывает на сложный характер рассеяния

линки (все это «аэрозоли») рассеивают свет. В начале XX в. немецкий физик Г. Ми разработал подробную теорию взаимодействия света с мелкими сферическими частицами (например, с жидкими каплями). Оказалось, что с уменьшением размера капель характер взаимодействия с ними света резко изменяется, когда длина окружности сферической частицы становится равной длине волны света. Результат зависит от прозрачности или непрозрачности частицы, ее электрических свойств (проводимости) и показателя преломления среды. Кроме Ми, еще несколько авторов в XX в. в своем анализе пришли к тем же выводам и даже написали книги похожего содержания. Трудности возникали (и сохраняются) с анализом рассеяния света мелкими несферическими частицами. Что же касается ореола, результата взаимодействия света с крупными предметами, размеры которых намного больше длины волны света, теория указала на удивительное, парадоксальное явление: ослабление света производит площадь, которая ровно вдвое больше реального геометрического поперечного сечения большого предмета, создающего тень (например,



Красочность закатов определяется сложным характером диаграммы рассеяния света, которое возникает на атмосферных неоднородностях

самолета). Казалось бы, какая может быть дифракция на таком огромном предмете? Но именно дифракция света ответственна за появление ореола вокруг тени воздушного шара или самолета. Вблизи края геометрической тени есть узкая область, где приближения, на которых основана геометрическая оптика, становятся некорректными. Так теория объясняет и удвоение поглощающей и отражающей площади, и появление светлого ореола.

Ореолы вокруг тени наблюдаются и с космических аппаратов. Небольшой астероид Итокава, размерами всего $535 \times 294 \times 209$ м, был целью японской космической миссии «Хаябуса» в 2005 г. Когда 10 ноября 2005 г. аппарат постепенно сближался с астероидом, были сделаны снимки, на которых хорошо заметен небольшой ореол вокруг тени. В этой точке Солнце находилось точно за аппаратом. Но гораздо больший примыкающий светлый район имел отношение не к аппарату «Хаябуса», а к самому Солнцу. Это так называемый эффект оппозиции, когда лучи Солнца заглядывают в

бесчисленные мелкие углубления на неровной поверхности небесного тела и освещают их дно и склоны, а наблюдатель смотрит со стороны Солнца. Каждый знает, как многократно возрастает яркость Луны во время полнолуния, когда Земля оказывается на линии Солнце – Луна. Это и есть эффект оппозиции. Но вернемся к снимкам с самолета.

Цветные кольца

Если авиапутешественнику повезет, он может увидеть еще более интересное явление, когда тень самолета не только окружена ореолом, но и охвачена цветным кольцом, и даже не одним. Чтобы объяснить происхождение таких колец, можно попытаться снова обратиться к теории рассеяния света мелкими частицами, хотя, как будет показано ниже, причина все-таки заключается в другом.

Как уже упоминалось, сам процесс рассеяния света зависит не только от размеров и природы частиц, дли-



ны волны падающего света, но и от других его свойств, например поляризации. В простейшем случае, если частицы очень мелкие, направления преимущественного рассеяния света образуют, в зависимости от его поляризации, восьмерку или овал, количество света, рассеянного вперед по направлению луча и назад, одинаково. Но если частицы – более крупные диэлектрические шарики диаметром около 0,1 мм, с длиной окружности по экватору, составляющей, например, восемь длин волн, диаграмма рассеяния (которую называют индикатрисой) выглядит иначе: подавляющая часть падающего света рассеивается вперед. Если наблюдатель будет перемещаться в плоскости диаграммы, он увидит чередующиеся всплески и уменьшения яркости. То же самое происходит при рассеянии солнечного света на атмосферных аэрозолях. Форма индикатрисы зависит от длины волны, а лучи Солнца на закате (и восходе) проходят сквозь множе-

ство локальных неоднородностей атмосферы, поэтому часто утром или вечером небо так ярко и неоднородно окрашено. Каждая неоднородность «отвечает» своей диаграммой, своими «лепестками», выделяя тот или иной цвет и яркость. Многочисленные максимумы и минимумы распределения интенсивности рассеянных лучей по углам отклонения показывают, как сложен характер рассеяния. На крупных частицах обратно к источнику свет почти не отражается. Зато рассеяние падающего излучения вперед хорошо знакомо каждому: пылающие закаты – это излучение, рассеянное вперед, к наблюдателю.

Если изменять длину волны (цвет излучения) или размеры и физические свойства частиц, лепестки диаграммы рассеяния будут сходиться или расходиться, увеличиваться или уменьшаться. И наоборот, сами атмосферные неоднородности воздействуют на проходящее солнечное излучение, в котором присутствует



Темное пятнышко в центре – тень самолета на облаках на фоне окружающего ее ореола, как на фотографии выше (стр. 56, слева вверху). Радужные кольца возникли благодаря рассеянию света на аэрозоле облаков при полном внутреннем отражении. Контраст деталей подчеркнут. Снимки сделаны с большой высоты

весь набор длин волн, воспринимаемых человеческим глазом и управляют, таким образом, красочными небесными декорациями.

Но объяснить свойствами индикатрисы появление цветных колец вокруг теней и ореола, при любых разумных размерах частиц, не удастся, хотя снимки несомненно указывают на связь колец с физическими свойствами аэрозоля облаков. В разрывах или в разрежениях облаков кольца не видны. Обращает на себя внимание их высокая яркость: они ясно видны на фоне облаков, ярко освещенных Солнцем. Именно

радужная окраска колец, их удивительная яркость и присутствие второго, внешнего кольца, подсказывают природу и происхождение цветных колец – это радуги, но несколько отличающиеся от обычных приземных. Известно, что к появлению радуги приводит сложная комбинация эффектов линзы и призмы при полном внутреннем отражении света в капле влаги облаков. Эффект зависит от углов, под которыми излучение падает на каплю, отражается и выходит из нее, а также от числа отражений света внутри капли.



На снимке, сделанном М. Мингалиевым в горах Кавказа, вокруг тени фотографа видны радужные кольца глории и ореол вокруг его головы, хотя и не очень яркий из-за сравнительно небольшого расстояния от объекта до тени. Радужные кольца имеют высокую яркость даже по сравнению со скалой, освещенной прямым светом. Наверное, еще лет 200 назад такой нимб стал бы верным признаком святости М. Мингалиева.
Фото М. Мингалиева

Радуги и глории

Обычная, классическая радуга возникает под углом около 138° . Если отражений несколько, появляются вторичные радуги. Радужно окрашенные кольца отличаются от приземных радуг тем, что отраженные и преломленные лучи собираются и как бы фокусируются в узком конусе вблизи 180° , направленном обратно, к Солнцу. Этим объясняется высокая яркость радужного кольца, сравнимая с прямым солнечным освещением. В метеорологии такое кольцо называют глорией (иногда глориями называют вторичные приземные радуги). Второе кольцо глории также различимо на фотографиях. Таким образом, то, что видно на снимках, – это совмещенные эффекты двух совершенно разных явлений: результата взаимодействия света с крупным объектом, размеры которого намного больше длины волны света, и радуги (глории). А их пространственная совмещенность вполне естественно объясняется тем, что все возникающие углы откладываются от направления на Солнце, которое совпадает с направлением на самолет, если, конечно, смотреть из центра глории. Интересно, что видимые (угловые) размеры тени самолета и ореола зависят от высоты полета и уменьшаются с высотой, а размеры глории – нет.

Ореол с самолета виден часто. Чтобы возник ореол, расстояние до поверхности, на которой видна тень, должно быть достаточно большим. А для возникновения глории нужно, кроме того, сочетание целого ряда условий, зависящих от физических свойств рассеивающей среды (мелких капель воды), их размеров, температуры и концентрации (плотности облаков или тумана). А главное – Солнце должно быть прямо за спиной у наблюдателя. Поэтому кресло у окна в само-

лете, летящего в дневное время в чистом небе высоко над плотными облаками – самое подходящее место для фотографирования глории.

И все же иногда удается видеть подобное явление без всяких самолетов. Солнце за спиной у наблюдателя, при других необходимых условиях, чаще всего можно встретить в горах, при низком Солнце, на восходе или закате.

В сентябре 2010 г. группа участников конференции в Нижнем Архызе (обсерватория САО РАН, северный Кавказ) отправилась на экскурсию в горы. За их спиной было ясное небо с низким Солнцем, а впереди, как это часто бывает в горах, поднималась полоса плотного тумана. Доктор физ.-мат. наук М. Г. Мингалиев выполнял обязанности экскурсовода, но вместе с тем не расставался с фотокамерой. Когда вокруг его тени вдруг появилось кольцо глории, он не упустил возможность создать автопортрет с нимбом. Наверное, лет 200 назад нимб стал бы верным признаком святости М. Г. Мингалиева. А может быть, принес бы ему какие-нибудь неприятности.

На снимке хорошо видны радужные кольца глории. Ореол вокруг тени головы хотя и заметен, но он не очень яркий из-за сравнительно небольшого расстояния до тени. Радужные кольца имеют высокую яркость даже по сравнению со скалой справа на снимке, освещенной прямым светом Солнца (как и на снимках с самолета).

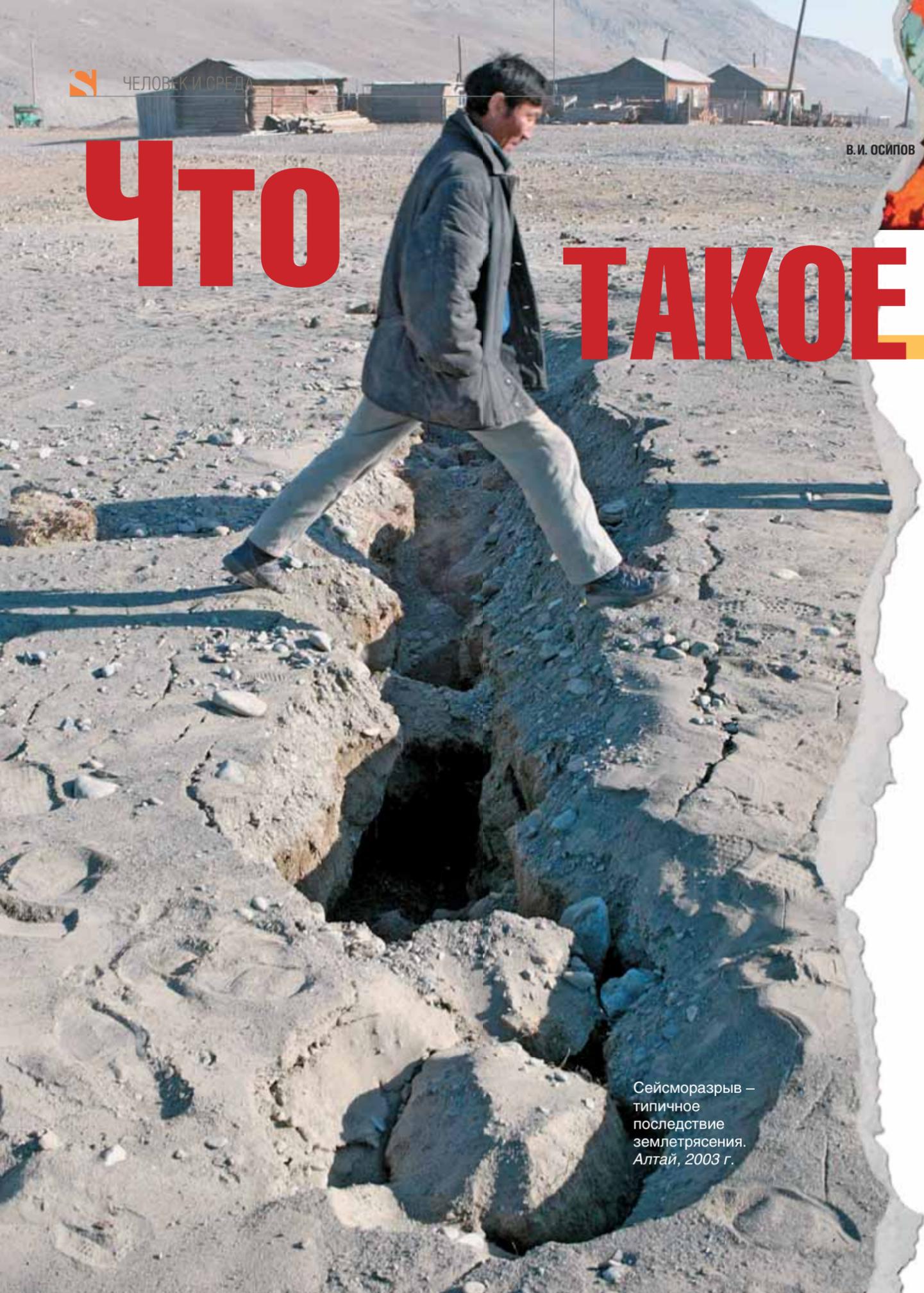
Конечно, такие необычные условия встречаются очень редко, но на всякий случай берите с собой фотокамеру, когда идете в горы.

Литература
М. Борн, Э. Вольф. *Основы оптики*. М.: Наука, 1979. С. 15–23.
Причины Всех Вещей // В мире науки. 2009. № 11, С. 50.

В публикации использованы фото автора

Что такое катастрофы

и как с ними бороться



Сейсморазрыв – типичное последствие землетрясения. Алтай, 2003 г.



Природные катастрофы – источники глубочайших социальных потрясений, приводящих к массовым страданиям, гибели людей и огромным материальным потерям. В основе увеличения числа природных катастроф лежат глобальные процессы, такие как рост численности населения и экономики земной цивилизации, деградация природной среды и изменение климата. Борьба со стихийными бедствиями является важным элементом государственной стратегии устойчивого развития. Она должна основываться на принципах разумного хозяйственного использования территорий, прогнозировании грозящих опасностей и проведении превентивных мероприятий

Человек с древнейших времен испытывал страх перед грозными проявлениями могущества природы. Как показывает история нашей цивилизации, многие природные катастрофы сопровождались крупными социальными потрясениями. Гибель Помпей в Италии в результате извержения вулкана Везувий (79 г. н.э.) – не единственный пример того, как процветавшие города приходили в упадок в результате стихийных бедствий, а потом и вовсе исчезали. Известны случаи, когда экономические потери от природных катастроф превышали величину валового национального продукта отдельных стран, в результате чего их экономика оказывалась в критическом состоянии. Например, только прямой ущерб от землетрясения в Манагуа (1972 г.) был равен двукратному размеру годового валового продукта Никарагуа.

Брызги магматических выбросов в восточной части вулкана Килауэа. Гавайские о-ва, 1977 г. (вверху слева). Геологическая служба США

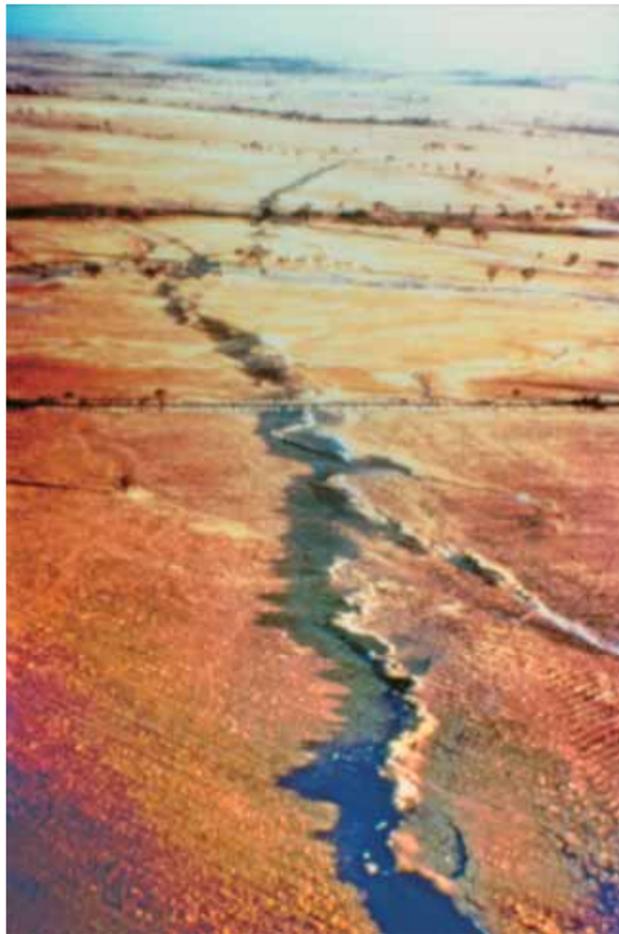
Лассен-Пик – крупнейший в мире вулкан с лавовым конусом высотой 606 м. Калифорния, 1915 г. (вверху справа). Фото Р. Мейерса



ОСИПОВ Виктор Иванович – академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геоэкологии им. Е. М. Сергеева (Москва). Заслуженный профессор Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Лауреат Премии Правительства РФ (2008). Автор и соавтор более 400 научных публикаций, в том числе 16 монографий

Ключевые слова: природные катастрофы, экономический ущерб, управление риском, предотвращение катастроф.

Key words: natural disasters, economic loss, hazard control, preventive measures



Этот грандиозный разрыв грунта вблизи г. Мекеринг (Австралия) появился 14 октября 1968 г. в результате землетрясения, сопровождавшегося поверхностными волнами. Вид с воздуха. Фото Б. Болта (Архив Калифорнийского университета, Беркли)

Анализ исторических данных свидетельствует, что количество природных катастроф на Земле неуклонно растет: только за последние полвека частота масштабных бедствий увеличилась в пять раз. Связанные же с ними материальные потери возросли почти в десять раз, достигая в отдельные годы 190 млрд дол. США. Ожидается, что к 2050 г. социально-экономический ущерб от опасных природных процессов (при существующем уровне защиты) составит почти половину прироста глобального валового продукта. В России средний ущерб от природно-технических катастроф в настоящее время – около 3% валового внутреннего продукта.

Во всеобщей проблеме безопасности катастрофические явления рассматриваются как один из важнейших дестабилизирующих факторов, препятствующих устойчивому развитию человечества.

Но что, собственно, означает это понятие – природные катастрофы? Каков механизм их зарождения и развития? Можно ли избежать их разрушительных последствий? И почему, несмотря на непрерывный научно-технический прогресс, человечество продолжает чувствовать себя незащищенным?

Разрушительная энергия

По мнению выдающегося советского ученого-естествоиспытателя В. И. Вернадского, земная поверхностная оболочка не может рассматриваться как область только вещества, это и область энергии.

Действительно, на поверхности Земли и в прилегающих к ней слоях атмосферы идет множество сложнейших процессов, сопровождающихся преобразованием энергии. Среди них *эндогенные* процессы реорганизации материи внутри Земли и *экзогенные* взаимодействия вещества внешней земной оболочки и физических полей, а также воздействие солнечной радиации.

Все эти процессы являются движущей силой постоянного преобразования облика нашей планеты – ее *геодинамики*. И они же вызывают разрушительные явления на ее поверхности и в атмосфере: землетрясения, извержения вулканов, цунами, наводнения, ураганы и др.

Природные катастрофы принято подразделять на типы в зависимости от среды, через которую происходит энергетическое воздействие – через земную твердь, воздушную или водную стихию.

Наиболее страшные из них – это, пожалуй, *землетрясения*. Мощные ударные волны, вызванные глубинными процессами, приводят к разрывам грунта, что оказывает ужасающее разрушительное воздействие на среду обитания человека. Величина выделяемой при этом энергии иногда превышает 10^{18} Дж, что соответствует взрыву сотни атомных бомб, подобных той, что была сброшена на Хиросиму в 1945 г.

Наиболее сильно страдает от землетрясений Китай, где они происходят почти ежегодно. Например, еще в 1556 г. в результате ряда мощнейших сейсмоударов погибло 0,8 млн человек (около 1% населения страны). Только за последнее десятилетие погибло около 80 тыс. жителей Китая, а общий экономический ущерб превысил 1,4 трлн юаней.

В России в последние годы наиболее разрушительным стало землетрясение на севере о. Сахалин в мае 1995 г., которое полностью разрушило пос. Нефтегорск и погубило более 2 тыс. человек.

Но все же самым мощным источником энергии на нашей планете являются *вулканы*. Выброс энергии при вулканическом извержении может стократно превышать «вклад» самого сильного землетрясения.

Ежегодно в результате вулканической деятельности в атмосферу и на поверхность Земли выбрасывается примерно 1,5 млрд т глубинного вещества.

В настоящее время на Земле насчитывается около 550 исторически активных вулканов (каждый восьмой из них находится на российской земле). За историческое время непосредственно вследствие вулканической активности в мире погибло не менее 1 млн человек.

В конце XIX в. произошло одно из крупнейших извержений вулкана Кракатау в Юго-Восточной Азии. Миллионы кубометров вулканического пепла, выброшенного в атмосферу, поднялись на высоту около 80 км. В результате наступила «полярная ночь» – на несколько месяцев вся Земля погрузилась в полумрак. Прямые солнечные лучи не достигали поверхности планеты, поэтому резко похолодало. Эту ситуацию позднее сравнивали с феноменом «ядерной зимы» – потенциальным последствием взрыва сверхмощной термоядерной бомбы на поверхности Земли.

Весной прошлого года мир пережил очередную природную катастрофу – извержение вулкана в Исландии, от которого пострадала экономика многих (особенно европейских) стран.

Землетрясения и извержения вулканов, происходящие на водных пространствах, часто приводят к возникновению *цунами*. Волна, образующаяся в открытом океане при вулканическом взрыве или сейсмическом толчке, у берега может приобрести чудовищную разрушительную силу. Библейский потоп и гибель Атлантиды приписывают

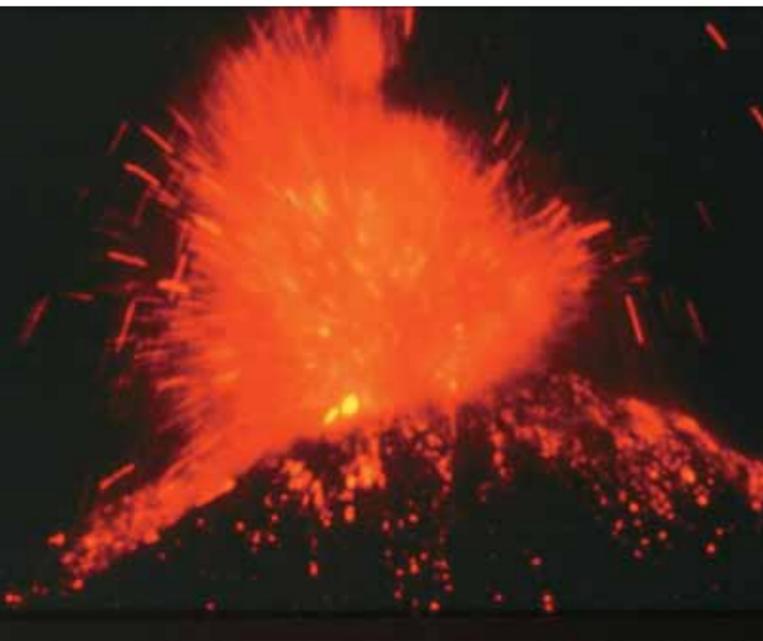
Так выглядела железная дорога «Юнион Пасифик» вблизи г. Сизтл (США) после землетрясения 29 апреля 1965 г. Архив Калифорнийского университета, Беркли



Землетрясение 16 июня 1964 г. в Ниигате, Япония. Вид с воздуха на дома, которые наклонились вследствие разжижения почвы и плохих фундаментов. Национальный центр геофизических данных

Два сходных по мощности землетрясения 1980-х гг. – в Спитаке (Армения) и Сан-Франциско (Калифорния, США) – имели очень разные последствия. Первое погубило около 40 тыс. человек, второе – всего 40 (!). Причина – различия в качестве использованных строительных конструкций и в организации предупредительных мер





Юный мексиканский вулкан Парикутин родился... на кукурузном поле в 1943 г. За десять лет конус вулкана достиг 410 м в высоту, а вокруг его основания образовались обильные поля лавы. Фото Р. Уилкокса (Геологическая служба США, 1944 г.)

извержениям вулкана в Средиземном море, сопровождавшимся цунами.

В XX в. только в Тихом океане было отмечено более двухсот цунами. В декабре 2004 г. череда крупных волн, обрушившихся на северо-восточное побережье Индийского океана, унесла более 200 тыс. человеческих жизней, а экономические потери составили 10 млрд дол.

Библейскую легенду о всемирном потопе часто приходится вспоминать и жителям стран, оказывающихся во власти грандиозных *наводнений* – затопления местности в результате резкого подъема уровня воды в реках, озерах, водохранилищах. Наводнения опасны сами по себе и к тому же провоцируют множество других природных бедствий – обвалы, оползни, сели.

Одно из самых страшных наводнений произошло в 1887 г. в Китае, когда вода в р. Хуанхэ за считанные часы поднялась на высоту восьмизэтажного дома. В результате погибло около 1 млн жителей этой речной долины.

В прошлом столетии, по данным ЮНЕСКО, в результате наводнений погибло 4 млн человек. Одно из последних сильных наводнений произошло в Чехии летом 2002 г. Вода залила улицы сотен населенных пунктов и городов, включая Прагу, в которой оказались затоплены 17 станций метро.



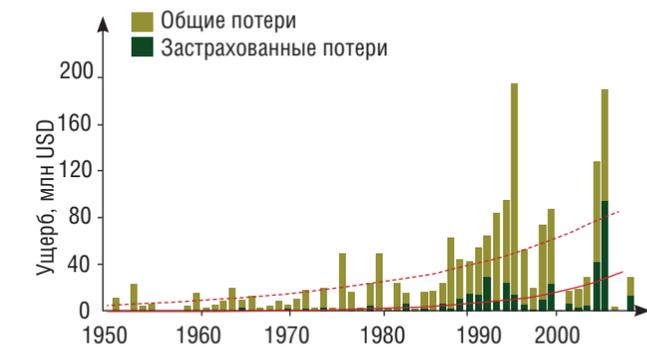
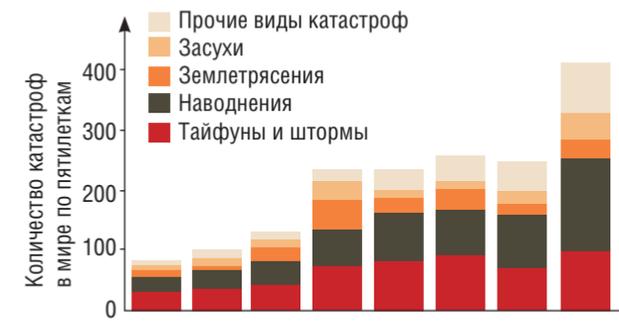
На старинной гравюре изображено извержение вулкана Неа Камени на о. Санторини в Эгейском море в 1866 г. Видна погруженная в воду кальдера. В 1650 г. до н. э. здесь произошло крупнейшее извержение, послужившее одной из причин исчезновения минойской цивилизации и возникновения легенды о гибели Атлантиды. Фото П. Хедервари (Национальный центр геофизических данных)

На территории России вулканическая деятельность наиболее активно проявляется на Курильских островах и Камчатке, где имеется 69 действующих вулканов. В течение XX в. здесь произошло 250 извержений, к счастью, без больших человеческих жертв

Подобные крупные катастрофические явления бываю и в России. Так, во время весеннего паводка 1994 г. на р. Тобол случился перелив воды через защитную дамбу г. Курган. В течение двух недель тысячи жилых домов оставались затопленными по крыши. Спустя семь лет произошло еще более разрушительное наводнение на р. Лена в Якутии.

Наконец, нельзя не упомянуть бушующую воздушную стихию: циклоны, штормы, ураганы, смерчи... Ежегодно на земном шаре возникает в среднем около 80 катастрофических ситуаций, связанных с этими явлениями. Океанские побережья часто страдают от тропических циклонов, обрушивающихся на континенты ураганные потоки воздуха со скоростью более 350 км/ч, мощные ливневые осадки (до 1000 мм за несколько дней) и штормовые волны высотой до 8 м.

Так, три крупных разрушительных урагана осенью 2005 г. нанесли американскому континенту ущерб в 156 млрд дол. На этом фоне ураганы, гулявшие на рубеже тысячелетий по Западной и Северной Европе, выглядят более скромно – от них потерь было на порядок меньше.



Последние полвека в мире наблюдается монотонный рост количества природных катастроф. Размер экономического ущерба от них возрастает вдвое быстрее, что свидетельствует о невысокой эффективности защиты от грозных явлений природы. По данным германской страховой компании Munich Re Group, 2007

14 ноября 1963 г. черный столб вулканического пепла возвестил о рождении острова на южном побережье Исландии. Извержение началось на глубине 130 м ниже уровня моря и продолжалось, пока высота вулкана не достигла морской поверхности. На фото запечатлен 16-дневный конус вулкана. Фото Х. Уильямса



Вездусущее человечество

Одна из основных причин увеличения числа жертв и материальных потерь в результате природных катастроф – неукротимый рост человеческой популяции.

В древние времена численность человечества изменялась незначительно, периоды ее роста чередовались с периодами спада в результате смертности от эпидемий и голода. Вплоть до начала XIX в. население Земли не превышало 1 млрд чел. Однако с наступлением индустриального периода общественного развития ситуация резко изменилась: уже спустя 100 лет население удвоилось, а к 1975 г. превысило 4 млрд чел.

Рост человеческой популяции сопровождается процессом урбанизации. Так, если в 1830 г. городская часть населения планеты составляла чуть более 3%, то в настоящее время в городах компактно проживает не менее половины человечества. Общая численность населения Земли ежегодно увеличивается в среднем на 1,7%, но в городах этот рост идет гораздо более быстрыми темпами (на 4,0%).

Рост населения планеты приводит к освоению малопригодных для проживания людей участков: склонов холмов, пойм рек, заболоченных территорий. Ситуация часто усугубляется отсутствием заблаговременной инженерной подготовки осваиваемых территорий и



Оползни и камнепады образовали в Канадских Скалистых горах гигантские каменные «шлейфы» (вверху). А это уже техноприродная катастрофа – оседание грунта (внизу), вызванное обрушением угольной шахты возле г. Лафайет (Колорадо, США). Фото Б. Бредли (Колорадский университет, США)



Опасность селя – бурного грязекаменного потока, возникающего в руслах горных рек, – не только в огромной разрушительной силе, но и во внезапности. На фото – селя, обрушившийся в 2000 г. на г. Тырнауз (Кабардино-Балкария)

использованием для застройки конструктивно несовершенных зданий. В результате города все чаще оказываются в центре разрушительных стихийных бедствий, где страдания и гибель людей приобретают массовый характер.

Промышленно-технологическая революция привела к глобальному вмешательству человека в наиболее консервативную часть окружающей среды – литосферу. Еще в 1925 г. В.И. Вернадский отметил, что человек своей научной мыслью создает «новую геологическую силу». Современная геологическая деятельность человека по масштабам стала сопоставима с природными геологическими процессами. Например, в ходе строительных работ и при добыче полезных ископаемых в год перемещается более 100 млрд т горных пород, что примерно вчетверо больше массы минерального материала, переносимого всеми реками мира в результате размыва суши.

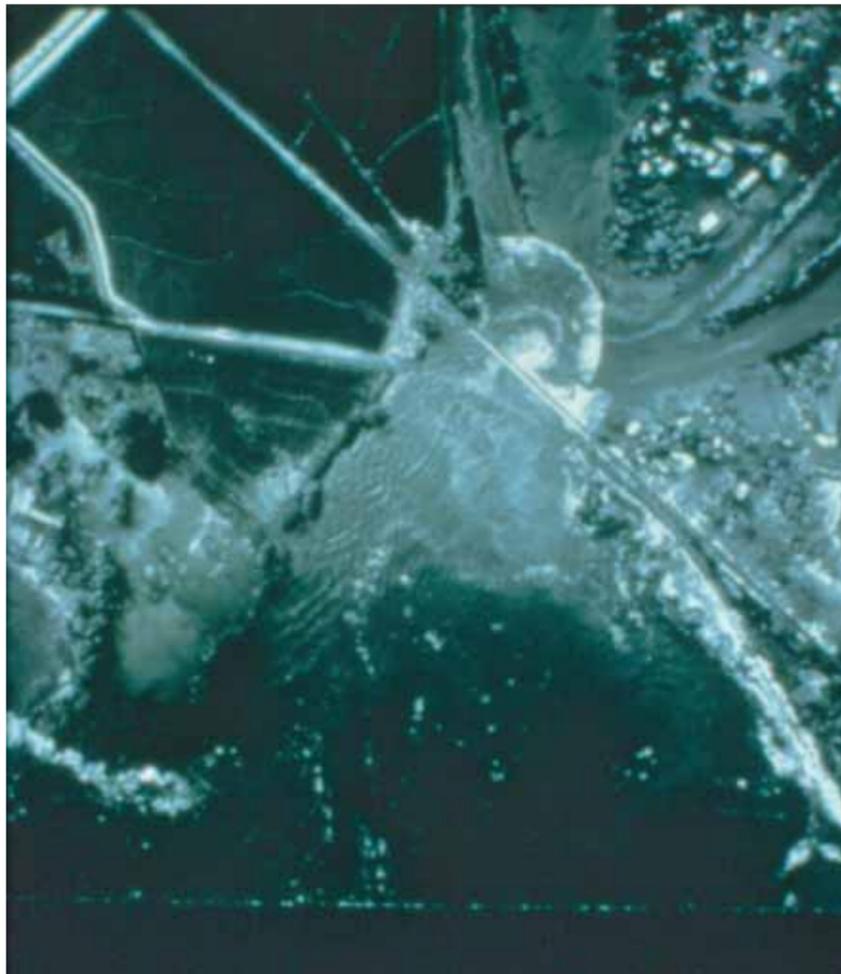
Техногенное воздействие человека на литосферу приводит к значительным изменениям в окружающей среде, активизируя развитие природных и инициируя появление новых – уже *техноприродных* – процессов. К последним относятся опускание территорий в результате глубинной добычи полезных ископаемых, наведенная сейсмичность, подтопление, карстово-суффозионные процессы, появление разного рода физических полей и т. д.

Таким образом, в современной экономике развиваются две противоположные тенденции: глобальный валовой доход растет, а составляющие «природный капитал» жизнеобеспечивающие ресурсы (вода, почва, биомасса, озоновый слой) деградируют. Это происходит потому, что промышленное развитие, призванное служить прежде всего экономическому прогрессу, вошло в противоречие с природной средой, поскольку перестало учитывать реальные пределы устойчивости биосферы.

Например, некоторыми из причин увеличения частоты и масштабов наводнений являются вырубка лесов, осушение водно-болотных угодий, уплотнение почвенного покрова. Действительно, такое «мелиоративное» воздействие приводит к ускорению поверхностного стока с водосбора в речное русло, поэтому во время экстремальных осадков или таяния снега уровень воды в реках резко повышается.

В адское пекло?

Многих людей волнует вопрос – чего нам ожидать в будущем? Согласно библейским откровениям, человеческую цивилизацию погубит огонь. Судя по глобальным изменениям климата на протяжении последних 150 лет, движение к такому «концу света» уже можно считать начавшимся.



В 1952 г. на Гавайские о-ва обрушилось цунами, вызванное землетрясением вблизи п-ова Камчатка. К счастью, оно обошлось без человеческих жертв.
На фото – четвертая волна цунами, накатывающая на о. Оаху.
Фото Д. Кертиса



Цунами, вызванное в 1960 г. землетрясением у побережья Чили, унесло жизни тысячи человек



Ущерб от цунами, вызванного землетрясением 1946 г. вблизи Алеутских о-вов (Аляска) и обрушившегося на Гавайи, составил 26 млн дол. В г. Хило все дома, обращенные к заливу, были смыты, железные дороги разрушены, а прибрежные дороги уничтожены. Фото из архива инженерных войск США



Перевернутый цунами корабль на берегу зал. Воскресения лежит в 75 км от эпицентра землетрясения, породившего гигантские волны. Аляска, 1964. Фото из архива Министерства внутренних дел США

По данным Всемирной метеорологической организации, глобальное повышение температуры составило около 0,8 °С. На региональном уровне наблюдаются более контрастные изменения. Например, в северных регионах России за последние 30 лет среднегодовая температура воздуха выросла на 1,0 °С, что примерно в 2,5 раза превышает скорость тренда глобальной температуры. Следует заметить, что это различие обусловлено преимущественно повышением средних зимних температур, в то время как в летние сезоны температура может даже слегка понижаться.

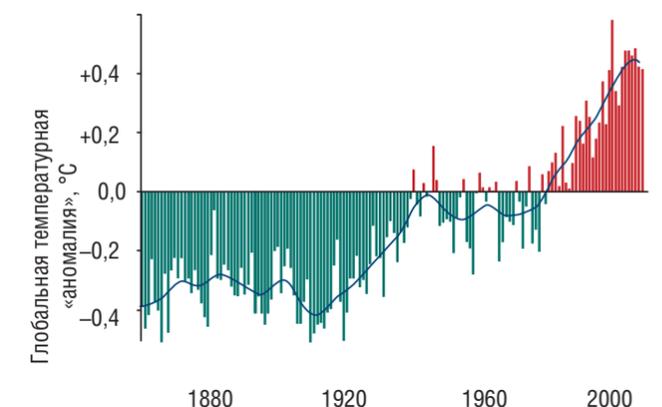
В ряде регионов мира в последнее десятилетие летом иногда наблюдалась аномальная жара. Так, в августе 2003 г. температура в некоторых странах Западной Европы поднималась до +40 °С, что вызвало гибель от теплового удара более 70 тыс. человек.

Несмотря на существование различных точек зрения на причины глобальных климатических изменений, сам факт потепления на Земле является неоспоримым. Дальнейшее увеличение температуры воздуха способно оказать как положительное, так и отрицательное воздействие на природную среду, приведя к опустыниванию, затоплению и разрушению морских побережий, сходу с гор ледников, отступанию вечной мерзлоты и т. п.

Острейшей гуманитарной проблемой становится нехватка питьевой воды. Сильнейшие засухи отмечались в последние годы в Латинской Америке, Северной Африке, Индии и Пакистане. Ожидается, что в ближайшем будущем площадь территорий, испытывающих острый дефицит влаги, существенно расширится. Число «экологических беженцев» продолжает быстро расти.

Одна из наиболее серьезных опасностей, связанных с глобальным потеплением, – таяние ледового покрова Гренландии и высокогорных ледников. По данным спутниковых наблюдений, с 1978 г. площадь морского льда в Антарктике сокращается в среднем на 0,27% ежегодно. Одновременно уменьшается и толщина ледовых полей.

Таяние ледников и тепловое расширение воды привело к повышению уровня Мирового океана на 17 см за последние 100 лет. Ожидается, что в ближайшие

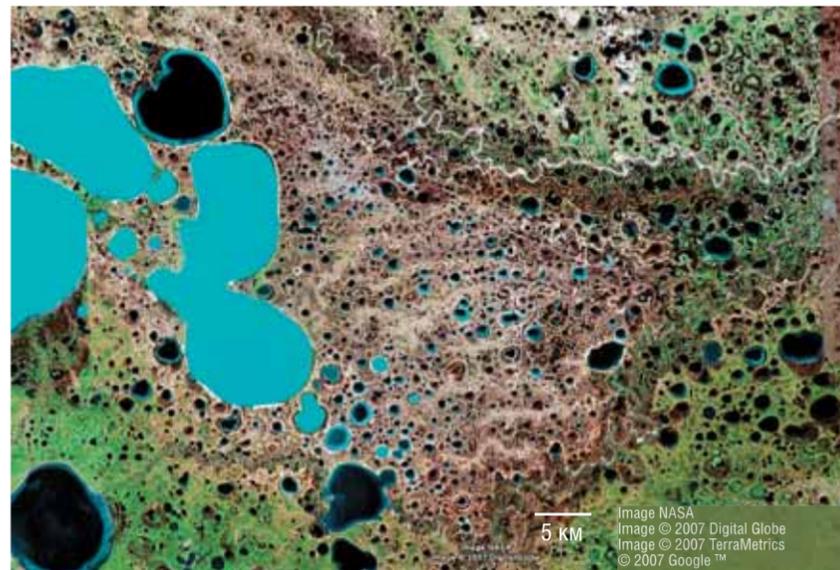


Отклонение среднегодовой *глобальной* (т. е. в среднем по всему земному шару) температуры приземного воздуха от реперного уровня 1962 г. колеблется, но линия тренда (плывущая средняя величина по 20-летним периодам) уверенно направлена вверх.

По данным Группы климатических исследований (Великобритания, 2008 г.)

годы уровень океана будет подниматься в 5–10 раз быстрее, что приведет к крупным финансовым затратам на обеспечение безопасности прибрежных низменных территорий. Так, при подъеме уровня Мирового океана на полметра Нидерландам потребуется около 3 трлн евро для борьбы с затоплением, а на Мальдивских островах защита одного лишь погонного метра побережья обойдется в 13 тыс. дол.

Потепление будет сопровождаться и деградацией многолетнемерзлых горных пород в криолитозоне,



составляющей значительную часть территории нашей страны. Отмечено, что за прошедшее столетие площадь распространения вечномерзлых грунтов в Северном полушарии сократилась на 7%, а максимальная глубина промерзания уменьшилась в среднем на 35 см. При сохранении существующей климатической тенденции граница сплошной вечной мерзлоты за десятилетие переместится к северу на 50–80 км (Осипов, 2001).

Деградация криолитозоны вызовет развитие таких опасных процессов, как *термокарст* – опускание территории в результате вытаявания льдов и образования наледей. Это, несомненно, усугубит проблему безопасности объектов газовой и нефтяной отраслей при освоении минеральных ресурсов Севера.

Профилактика катастроф

До недавнего времени усилия многих стран по «уменьшению опасности» стихийных бедствий были направлены лишь на ликвидацию их последствий, оказание помощи пострадавшим, организацию технических и медицинских услуг, поставку продуктов

питания и т. п. Однако устойчивая тенденция к увеличению частоты катастрофических событий и размера связанного с ними ущерба делает эти мероприятия все менее эффективными.

При выработке концепции «борьбы с катастрофами» важно понимать, что человек не в состоянии приостановить или изменить ход эволюционных трансформаций планеты – он может только с некоторой долей вероятности прогнозировать их развитие и иногда оказывать влияние на их динамику. Поэтому в настоящее время

Разрушение берегов происходит при оттаивании льдов в мерзлом грунте, который оплывает по склону вместе с растительным покровом (слева). Многие территории на п-ове Ямал поражены термокарстовыми процессами: на них практически нет растительности (справа). Долина р. Юрибей

специалисты считают приоритетными новые задачи: предупреждение природных катастроф и смягчение их негативных последствий.

Центральное место в стратегии борьбы со стихией занимает проблема оценки *риска*, т. е. вероятности катастрофического события и величины ожидаемых человеческих жертв и материальных потерь.

Степень воздействия природной опасности на людей и объекты инфраструктуры оценивается показателем их *уязвимости*. Для людей это снижение способности выполнять свои функции вследствие гибели, потери здоровья или увечья; для объектов техносферы – уничтожение, разрушение или частичное повреждение объектов.

Регулировать развитие большинства природных опасностей – весьма сложная задача. Многие природ-

ные явления, такие как, например, землетрясения и извержения вулканов, вообще не поддаются прямому управлению. Но имеется многолетний положительный опыт воздействия человека, в частности, на некоторые гидрометеорологические явления.

Так, в научных организациях Росгидромета были разработаны технологии внесения активных реагентов в облачные поля при помощи ракетной, авиационной и наземной техники с целью искусственного увеличения и перераспределения атмосферных осадков, рассеива-

ния туманов в окрестностях аэропортов, предотвращения градобития сельскохозяйственных культур. Стало возможным регулирование атмосферных осадков во время техногенных катастроф. Так, после взрыва на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 г. был предотвращен дождевой смыв продуктов радиационного загрязнения в речную сеть.

Значительно чаще превентивные меры осуществляются косвенным образом, путем повышения устойчивости и защищенности по отношению к природным

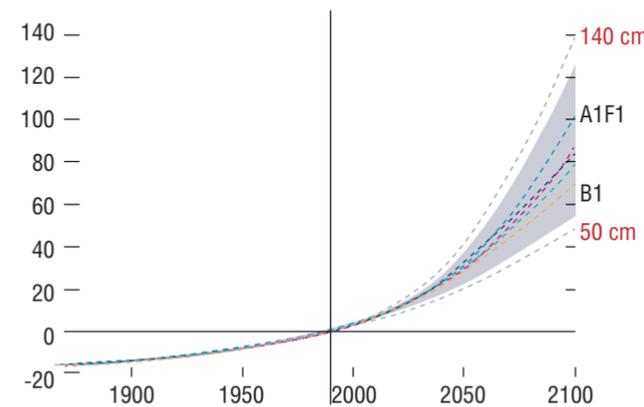


Почти на четверти территории России распространена «вечная мерзлота». Глобальное потепление климата вызывает разрушение вечномерзлых грунтов и опускание территории в результате развития термокарстовых процессов

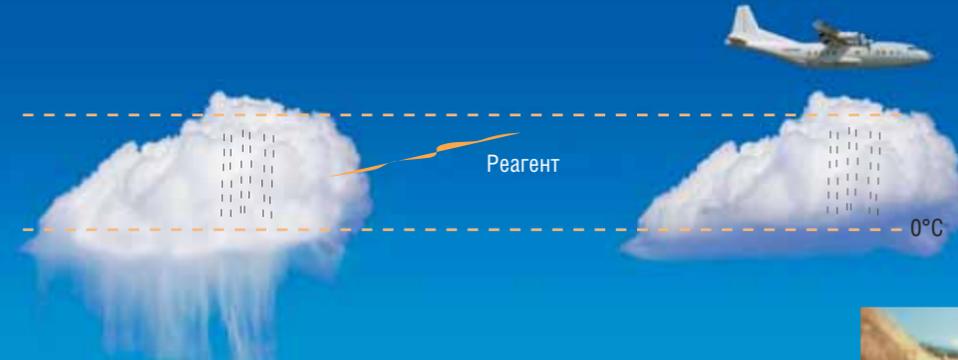
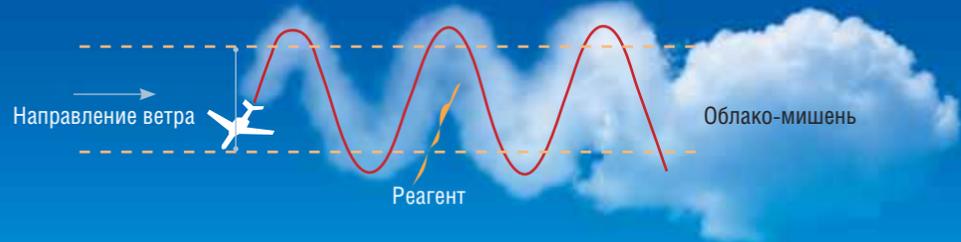
Зоны с наличием многолетнемерзлых грунтов (1–3):
 1 – островное распространение (< 50 % площади),
 2 – прерывистое (50–90 %) распределение,
 3 – сплошное (> 90 %) распределение;
 4 – зона сезонного промерзания.

опасностям и самих людей, и инфраструктуры. Среди наиболее важных мер по снижению их уязвимости рациональное использование земель, тщательная инженерная подготовка объектов инфраструктуры и защита территорий, на которых они размещаются, организация средств предупреждения и экстренного реагирования.

Участки внешне однородной территории с разнообразными геоморфологическими, гидрогеологическими, ландшафтными и другими условиями реагируют на природные воздействия неодинаково. Например, в ни-



За последнее столетие уровень Мирового океана повысился на 17 см. Согласно прогнозам, темпы его роста могут увеличиться в несколько раз благодаря продолжающемуся глобальному потеплению.
 По: Stefan Rahmstorf (2007), Science Vol. 315, p. 368



Для регулирования атмосферных осадков разработаны авиационные технологии: распыляемый реагент вызывает коагуляцию облачного аэрозоля в дождевые капли. Внесение активного вещества осуществляется средствами малой авиации (слева)

Природная опасность – экстремальное явление в литосфере, гидросфере, атмосфере или космосе. **Риск природной опасности**, согласно терминологии ООН, – это ожидаемые социальные и материальные потери в количественном измерении в данном районе за определенный период времени.

Оценка риска производится на основе данных о вероятности проявления природной опасности, ее физических параметрах, а также о месте и времени возникновения.

Если природная опасность появляется на урбанизированных или хозяйственно-освоенных территориях и воздействует непосредственно на людей и объекты материальной сферы, то происходит **реализация риска со всеми вытекающими последствиями**.

Уязвимость характеризует неспособность людей, а также элементов социальной и материальной сферы противостоять природным явлениям. Выражается в относительных единицах или процентах.

Процедура **анализа риска** заключается в вычислении ожидаемых потерь при проявлении природной опасности на основе ее количественной оценки и определения величины уязвимости реципиентов риска (людей и объектов).

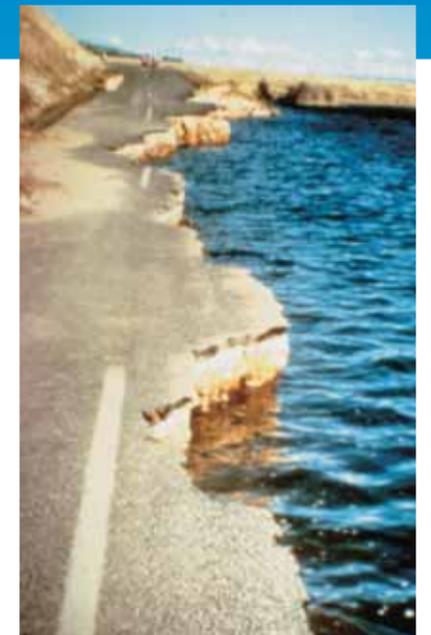
В случае, когда рассчитанный уровень риска оказывается неприемлемым (критерии приемлемости пока очень субъективны), осуществляют **управление риском**, т. е. выполняют мероприятия по его снижению. Одни из них непосредственно воздействуют на развивающиеся опасные природные явления, другие способствуют уменьшению уязвимости техносферы и повышению безопасности людей

Наземные устройства для рассеяния низкой облачности и туманов включают генератор ледяных кристаллов на сжиженном азоте. Генераторные системы могут быть как стационарными, так и мобильными (справа)

территории Адлерского района, где возводится комплекс сооружений для Олимпийских игр 2014 г.

Нередко возникает необходимость использовать заведомо непригодные для строительства земли, например, участки морских побережий и долин рек, склонов гор, территории с закарстованными и просадочными грунтами. В этом случае проводят превентивные инженерные мероприятия, направленные на повышение устойчивости территорий и защиту самих сооружений: возводят сплошные стены и дамбы, строят дренажные системы и водосбросы, производят поднятие территории с помощью отсыпки грунта, укрепляют грунты путем их уплотнения, цементации и армирования.

Недавний пример крупномасштабного защитного гидротехнического строительства – возведение защитной дамбы, которая перекрыла часть



Во время землетрясения 18 августа 1959 г. участок шоссе 287 рухнул в озеро Хебген, Монтана (США). Оползни, затопление, появление трещин и смещение дорожного полотна сделали дорогу непроезжей на участке длиной в 58 км. Свыше 200 отдыхающих оказались в ловушке в Каньоне Мэдисон. Фото: из архива Калифорнийского университета (Беркли, США)



Имеретинская низменность на территории Адлерского р-на, где возводится комплекс сооружений для Олимпийских игр 2014 г., была зонирована по уровню сейсмической опасности

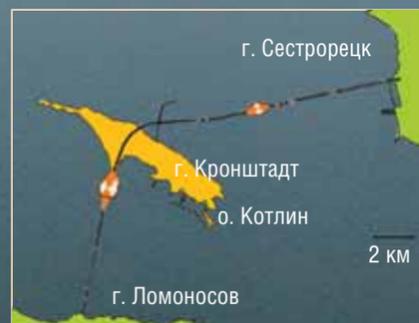
зинных участках, сложенных слабыми водонасыщенными грунтами, интенсивность сейсмических колебаний может оказаться в несколько раз выше, чем на соседнем участке, сложенном скальными породами.

Очевидно, что для снижения уязвимости и повышения безопасности необходимо строго обоснованно и ответственно подходить к выбору земельных участков для строительства населенных пунктов, промышленных и гражданских объектов, элементов жизнеобеспечивающих систем и т. д. Для решения этой задачи проводится инженерно-геологическое районирование территории, которое заключается в выявлении участков с одинаковыми или близкими геологическими характеристиками и их ранжировании по степени пригодности для хозяйственного освоения и устойчивости к воздействию природных и техногенных опасностей.

Для сейсмоопасных территорий составляется также карта сейсмического микрорайонирования. Ее основное назначение – выделять зоны различной сейсмической опасности (балльности) с учетом всех факторов, влияющих на распространение в геологической среде упругих волн. Например, при участии Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН было проведено подобное зонирование Имеретинской низменности на



Для защиты Санкт-Петербурга от наводнения через Финский залив построена 25-километровая дамба, по которой проходит кольцевая автомобильная дорога. В комплексе дамбы оборудованы шлюзовые сооружения для регулирования потока воды и пропуска морских судов



Финского залива и устье Невы. Потребность в подобном сооружении была велика, так как практически ежегодно за счет ветрового нагона из Балтийского моря воды Невы поднимались выше 1,5 м – уровня, в расчете на который проектировался Санкт-Петербург. Это приводило к затоплению отдельных районов города. Законченная в 2009 г., дамба выдерживает подъем воды свыше 4 м, что полностью избавляет жителей от угрозы наводнения.

Однако защита территории и даже рациональный выбор участка под строительство не являются достаточными условиями безопасности. Основная причина гибели людей в природных катастрофах связана с обрушением жилых и промышленных зданий. Поэтому необходимо совершенствование проектных решений, использование более прочных материалов, а также диагностика состояния уже построенных зданий и сооружений и периодическое укрепление их конструкций.

Успешное управление природной безопасностью не может существовать без системы предупреждения и экстренного реагирования, которая включает в себя

средства наблюдения за развитием опасных процессов (средства *мониторинга*), оперативной передачи и обработки получаемой информации, оповещения населения о назревающей опасности.

Мониторинг – важнейшее звено системы прогнозирования и предупреждения. Прогностический мониторинг предназначен для организации регулярных наблюдений за аномальными явлениями природы или геоиндикаторами, отражающими их развитие. Проведение такого мониторинга в течение длительного времени позволяет создавать банки данных и временные ряды наблюдений, анализ которых дает возможность выяснять закономерности динамики опасного процесса, моделировать причинно-следственные связи его развития и предсказывать возникновение экстремальных ситуаций.

Для смягчения последствий от «мгновенно» развивающихся катастрофических процессов (например, землетрясений) в случае отсутствия надежных методов их прогнозирования целесообразно применять так называемый охранный мониторинг. Он настраивается

на экстремальную фазу катастрофического события и позволяет без вмешательства человека автоматически принимать срочные меры по минимизации последствий опасного процесса за считанные секунды до наступления критического момента.

Чаще всего по сигналу охранный мониторинговой системы осуществляется отключение объекта от энергообеспечивающих систем (газ, электричество), оповещение персонала и др. Такие системы устанавливаются на особо ответственных и опасных объектах, прежде всего на атомных станциях, нефтеперерабатывающих заводах, морских платформах нефтедобычи, насосных станциях химических продуктопроводов и т. п.

Примером охранный мониторинга может служить система сейсмической безопасности, основанная на применении *акселерометров* (измерителей величины ускорения) сильных движений. Она была разработана в Институте геоэкологии им. Е. М. Сергеева РАН и установлена на нефтедобывающих платформах, расположенных на шельфе о. Сахалин. Анализ показаний приборов с помощью специального алгоритма дает возможность различать колебания объекта, вызванные сейсмическими и иными причинами. Поэтому система подает тревожный сигнал только тогда, когда уровень заданной пороговой интенсивности превышен, и не реагирует на другие сотрясения. Так исключается возможность «ложной тревоги».

В последние десятилетия наметились опасные тенденции в развитии природных процессов, во многом обусловленных ростом численности населения и экономики земной цивилизации. Необратимый рост числа катастрофических событий, в том числе техноприродного происхождения, выдвигает в качестве важного государственного приоритета оценку природных рисков и разработку методов борьбы с ними.

Эффективное управление рисками опирается на современный уровень знаний о природных явлениях, системную организацию наблюдений за опасными процессами, адекватную культуру хозяйственной деятельности и принятие ответственных управленческих решений на разных уровнях власти. Стратегию управления рисками следует осуществлять во всех проектах и инвестиционных программах, связанных со строительством, образованием, социальным обеспечением, здравоохранением.

После стремительного прорыва в космос человечество вновь обращает свой взгляд к общему дому – планете Земля. Общепланетные проблемы в наступившем столетии должны занять важное место среди фундаментальных и практических задач, ибо от их решения во многом зависит будущее нашей цивилизации.

Литература

Глобальная экологическая перспектива (Гео-3): прошлое, настоящее и перспективы на будущее / Ред. Г. Н. Голубев. М.: ЮНЕПКОМ, 2002. 504 с.

Осипов В. И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестник РАН. 2001. Т. 71, № 4. С. 291–302.

Природные опасности России: в 6-ти т. / Под общ. ред. В. И. Осипова, С. Шойгу. М.: Издательская фирма КРУК, 2000–2003: Природные опасности и общество / Под ред. В. А. Владимировой, Ю. Л. Воробьева, В. И. Осипова. 2002. 248 с.; Сейсмические опасности / Под ред. Г. А. Соболева. 2001. 295 с.; Экзогенные геологические опасности / Под ред. В. М. Кутепова, А. И. Шеко. 2002. 348 с.; Геокриологические опасности / Под ред. Л. С. Парагуля, Э. Д. Ершова. 2000. 316 с.; Гидрометеорологические опасности / Под ред. Г. С. Голицына, А. А. Васильева. 2001. 295 с.; Оценка и управление природными рисками / Под ред. А. Л. Разозина. 2003. 320 с.

В статье использованы фотографии вулканов с сайта www.ngdc.noaa.gov/hazard/volcano.shtml Министерства торговли, Национального управления по исследованию океанов и атмосферы и Национальной информационной службы спутниковых данных об окружающей среде США

Н.Л. ДОБРЕЦОВ



Климат ВО ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВЕ

В статье академика Н.Л. Добрецова получает развитие тема, которой посвящена публикация «Что такое катастрофы и как с ними бороться» академика В.И. Осипова.

Освещены такие моменты, как неоднородность («пятнистость») проявления в пространстве и во времени природных катастроф, связанных с климатическими изменениями, и сам феномен периодических изменений климата на нашей планете. В первую очередь подобная информация необходима для понимания явления так называемого «глобального потепления», которое на протяжении последних десятков лет постоянно обсуждается в средствах массовой информации

Ключевые слова: глобальное потепление, природные климатические циклы, реконструкция климата, таяние ледников, вулканизм, опустынивание, ледниковый период

Key words: global warming, natural climatic cycles, climate reconstruction, deglaciation, volcanism, desertification, glacial period

Глобальное потепление – это повышение средней температуры приземной атмосферы в среднем на градус за столетие. Известный отечественный океанолог и климатолог А.С. Саркисян так говорит об этом явлении, которое связывают с началом эры быстрого технического прогресса: «Некоторые ученые называют эту постоянно навязываемую населению страшилку “глобальной ложью XX века”. <...> Имеет место односторонняя трактовка глобального колебания климатических характеристик, которое носит циклический характер» (Саркисян, 2009, с. 161).

Он также отмечает, что в обозримой истории Земли периоды потепления всегда чередовались с периодами похолодания за счет астрономических факторов. Добавим – не только астрономических. На климат планеты оказывает влияние и глобальная океаническая «конвейерная лента» течений, которая зависит от расположения высоких гор и самих континентов – относительное движение материков приводит к изменению конфигурации океанических потоков, хотя на это требуются миллионы лет.

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 (углекислого газа, метана и т.д.), намного превышающее выбросы промышленных предприятий и ТЭЦ (Добрецов, Коваленко, 2001; Textor et al., 2004). По словам того

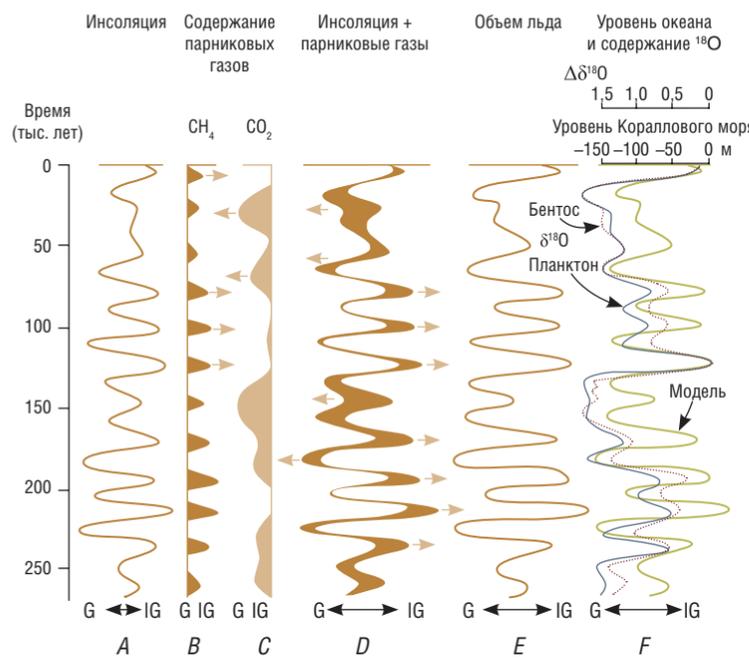


ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич – академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, председатель Объединенного ученого совета наук о Земле РАН, научный руководитель Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск). Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»

же А.С. Саркисяна (2009, с. 162), «здесь целая сумма факторов влияния, и было бы неправильно сводить все к увеличению содержания CO₂ в атмосфере за счет индустриализации».

Где-то теплеет, а где-то холодает

Наиболее ярко неоднородность изменения климата на планете за последние 150 лет проявляется в различной динамике температурных изменений в Северном и Южном полушариях. Так, в Арктике зафиксировано отчетливое потепление, в Антарктике – похолодание, за исключением западной ее части (Антарктического п-ова), где наблюдается слабое потепление (Overlemd et al., 2008).



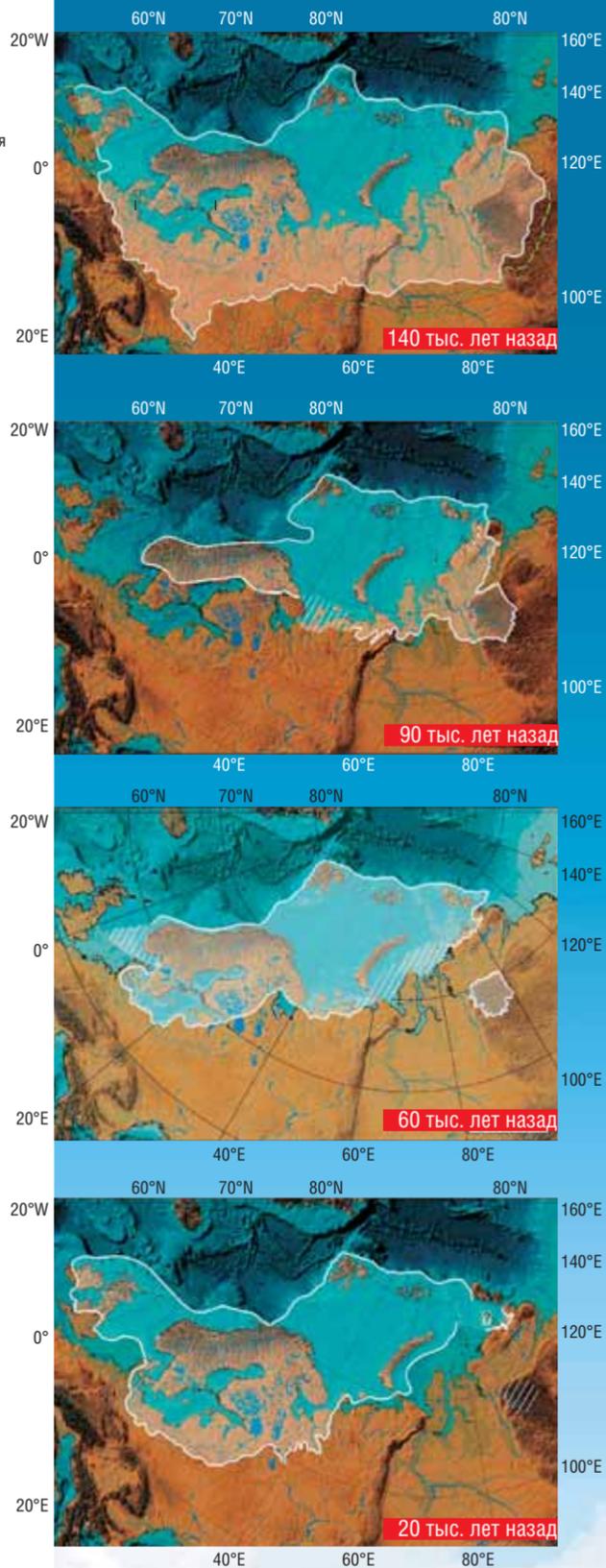
Глобальные астрономические факторы изменения климата связаны с циклами Миланковича длительностью 100, 41 и 23—19 тыс. лет (с такой периодичностью варьируют удаление Земли от Солнца, эксцентриситет орбиты Земли и угол наклона плоскости экватора). На основе этих циклов рассчитываются соответствующие вариации инсоляции на поверхность Земли (A), на которые накладываются вариации выделения основных парниковых газов (метана и углекислого газа) с периодичностью 22 и 41 тыс. лет (B и C). Суперпозиция этих кривых дает суммарную кривую D (вариации инсоляции + эффект парниковых газов) глобальных климатических изменений — от эпохи оледенения (G) до межледникового (IG). Из глобальных изменений климата однозначно вытекает изменчивость суммарного объема льда на планете (E), который бывает максимален в эпохи оледенений и минимален в межледниковые эпохи, как в настоящее время, когда материковые льды сохранились только в Гренландии и Антарктиде.

На основе динамики ледового покрова была рассчитана изменчивость уровня океана (на примере Кораллового моря), а также содержания тяжелого изотопа кислорода ^{18}O в бентосных и планктонных организмах, равновесных с морской водой (доля этого изотопа в воде возрастает по мере увеличения объема льда). Реальные данные по содержанию ^{18}O , полученные при исследовании морских организмов, хорошо подтверждают рассчитанную модель, по крайней мере, до рубежа 130 тыс. лет назад (F).

По: (Ruddiman, 2003)

Колебания объема льда за последние 140 тыс. лет видны на примере хорошо изученного Карско-Скандинавского (Евразийского) ледника, который периодически таял и разрастался очень неравномерно (справа).

По: (Svendsen et al., 2004)

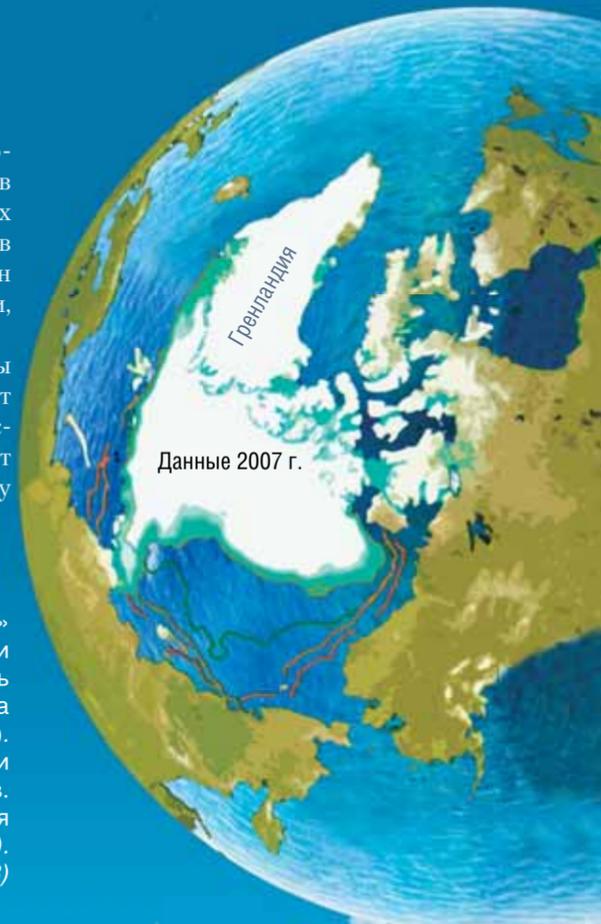


Другой показательный пример влияния территориального фактора — неоднородное таяние полярных льдов. Известно, что потепление в Арктике за последние полвека привело к сокращению поля постоянных (паковых) льдов почти в два раза. Этот процесс наиболее ярко выражен в зоне влияния теплого течения Гольфстрим, однако практически не заметен на восточной Аляске, в районе Баффиновой Земли и Северной Гренландии, где усилилось холодное течение Дрейка.

По-видимому, главная причина неодинакового повышения температуры на континентах связана с Мировым океаном, где постоянный круговорот воды осуществляет медленный теплоперенос. В Южном полушарии в основном преобладают холодные течения, которые компенсируют эффект потепления: отбирая часть избыточного тепла, они отдают его по ходу потока в северных приполярных областях.

Глобальное потепление приводит к постепенному плавлению «вечных» арктических льдов. Общая площадь северной полярной шапки сократилась почти вдвое, граница постоянного льда отступает, но отнюдь не везде — более чем на трети длины ледового контура таяние не прогрессирует (справа).

Область максимального усиления фотосинтетической активности за последние годы примыкает непосредственно к границе тающих льдов. За ней следует зона опустынивания, где уменьшается плотность растительного покрова (внизу).
По: (Eos, 2007; Eos, 2008)



Данные 2007 г.

Границы арктической полярной шапки в сентябре:

- 1958—2000 (усред.)
- 1979—2000 (усред.)
- 2005

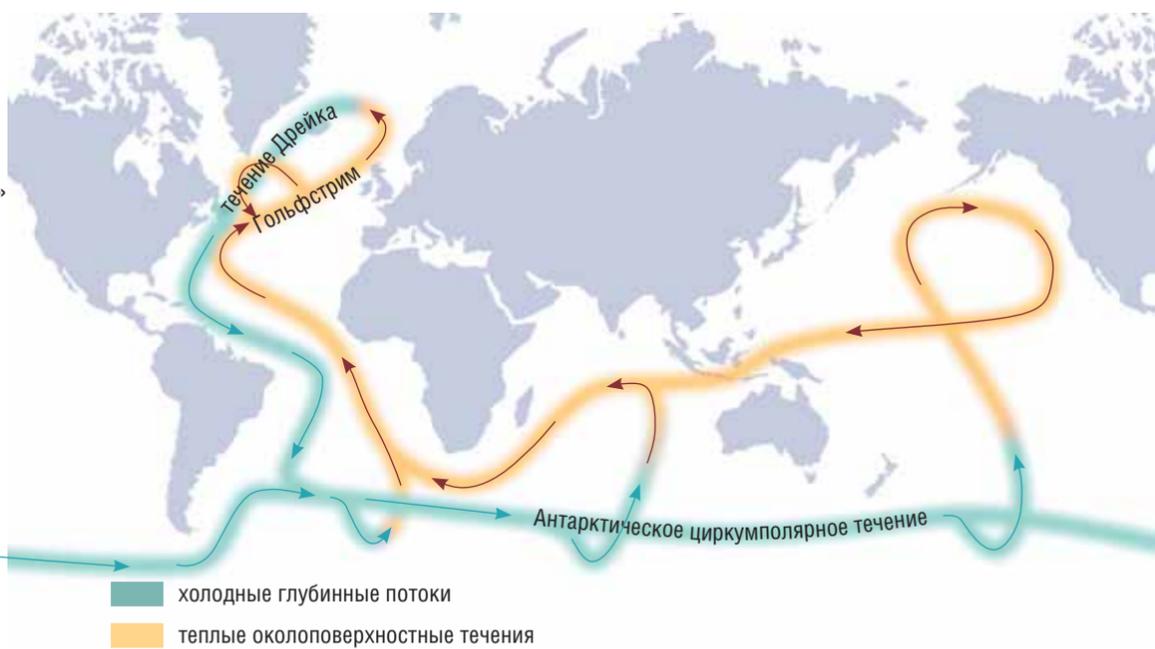
Временной тренд индекса весенне-летней фотосинтетической активности (усредненный за 1981—2005 гг.):

- положительный
- отрицательный
- зоны опустынивания





Межрегиональный теплообмен в Мировом океане осуществляет глобальная океаническая «конвейерная лента» течений. Теплые поверхностные воды движутся из тропиков Тихого океана до Норвежского моря. Там они охлаждаются, опускаются и уже в виде глубинных потоков прохладных вод возвращаются в Тихий океан.
По: (Саркисян, Математические модели..., 1980)



Важно отметить, что при помощи одних только наблюдений (включая спутниковые) за температурой и скоростью поверхностных потоков невозможно оценить изменения климатических характеристик океана в целом, так как требуемые вычисления крайне сложны. Поэтому при обработке натуральных данных можно получить в лучшем случае качественную картину (Саркисян, 2009).

Есть и другие очевидные проявления контрастной «пятнистости» изменения климата. Так, в полосе, примыкающей к области максимального таяния арктических льдов, последние десятилетия наблюдается значительный рост фотосинтетической активности растений, но к югу от нее пятнами выделяются огромные области максимального опустынивания.

Климатические качели

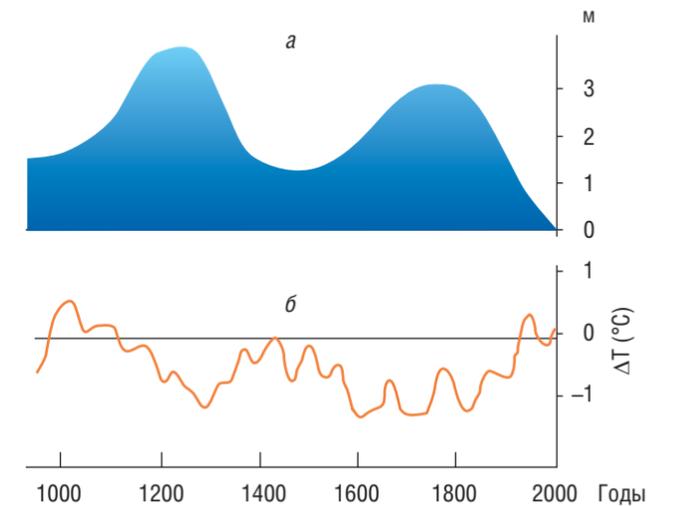
Для анализа современных изменений климата наибольший интерес представляют данные, относящиеся к голоцену (т. е. за последние 12 тыс. лет) и к историческому времени – за последние 2–3 тыс. лет.

Методов реконструкции древних климатических условий существует множество. Для этих целей используются, например, измерения ширины годовых колец деревьев, исследования изотопного состава и количества пыльцы растений в кернах из приполярных и высокогорных ледников, состава фауны и флоры из озерных и пещерных отложений и т. д.

Сопоставляя результаты различных исследований, можно сделать важные выводы о ходе и характере климатических изменений на огромных территориях и за значительные периоды времени. Все полученные данные свидетельствуют об одном: и региональный, и глобальный климат в течение прошедших тысячелетий значительно менялся, при этом среднегодовые колебания температуры в отдельных регионах достигали нескольких градусов.

По результатам химического анализа осадков оз. Телецкое построен график колебаний среднегодовой температуры на протяжении 3 тыс. лет (Калугин и др., 2009). Визуально отмечено сходство участка температурного профиля за последние четыре столетия и пятивекового интервала с центром в начале современного летоисчисления (250 г. до н.э. – 250 г. н.э.), что может быть обусловлено циклическим повторением неких процессов, влияющих на климат.

Корреляционный анализ подтверждает гипотезу о периодичности многовекового хода температур, поэтому наложение усредненной кривой древнеримского времени на современный период позволяет спрогнозировать характер изменения климата в ближайшее столетие. При такой экстраполяции выходит, что среднегодовой максимум глобальной температуры будет достигнут



Колебания уровня воды в бессточном оз. Чаны в Западной Сибири (а) находятся в противофазе с температурной динамикой в Евразийской субарктической зоне (б). За нулевую отметку принят уровень озера на 1972 г.
По: (Shnitnikov, 1982; Tarasov, 1995; Naurzbaev et al., 2003 и др.)

к середине XXI в., после чего ожидается устойчивое похолодание, которое погрузит Землю в новый ледниковый период.

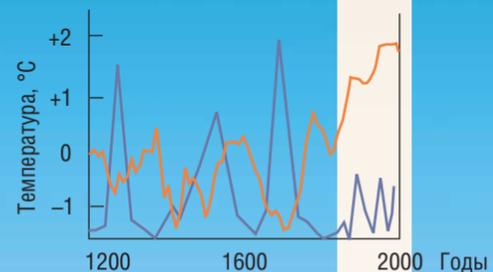
Вряд ли можно отнести к техногенному влиянию тот факт, что в донных осадках Телецкого озера, датированных разными, хотя и близкими, годами глубокой древности, было обнаружено существенно различное количество серы. Очевидно, что максимумы концентрации сульфатов отражают периоды запыленности атмосферы вулканическими выбросами. Это подтверждается также соответствующими всплесками содержания магния и кальция в ледниках горы Белуха, находящейся в том же регионе (Oliver et al., 2006).

Нарастание числа пыльных бурь как следствие процесса опустынивания в Алтайском регионе России и Монголии тоже совпадает с максимумом вулканической активности (Zykin, 2003). Следует отметить, что содержание пыли в воздухе во многом зависит от атмосферных осадков. Это важнейший показатель климата, который связан с температурой, хотя и не однозначно.

Так, колебания уровня воды в оз. Чаны (крупнейшем бессточном озере Западной Сибири) определяются преимущественно объемом выпадающих осадков – дождя и снега. При этом периоды главных экстремумов на кривой уровня находятся в противофазе с температурной динамикой в Евразийской субарктической зоне: годы высокой воды в озере приблизительно соответствуют температурным минимумам. В настоящее время уровень Чанов опустился ниже тысячелетнего минимума и продолжает снижаться (Tarasov, 1995).



Реконструкция по изотопному составу ледовых кернов горы Белуха и содержание створок диатомовых водорослей в осадках оз. Телецкое (Алтай)



Экстремумы температурных колебаний в разных регионах Северного полушария Земли совпадают, хотя при получении этих результатов использовались различные методики.

Все эти данные свидетельствуют о глобальном потеплении, которое началось примерно полтора столетия назад.

По: (Калугин и др., 2009; Naurzbaev, Vaganov, 2000; Папина и др., 2011)



Перспективная линия тренда, вычисленная как смещение плавающего среднего, свидетельствует о том, что максимум температуры будет достигнут около 2050 г. Позже наступит устойчивое похолодание и «сползание» к новому ледниковому периоду. Реконструкция температурных изменений выполнена на основе изучения донных осадков оз. Телецкое (Алтай).

По: (Калугин и др., 2009)

Огромный массив накопленных данных об изменениях климата от глубокой древности до наших дней, с примерами которых мы познакомимся, позволяет сформулировать два важных вывода.

Во-первых, пресловутая «страшилка» о глобальном потеплении сильно преувеличена, так как, возможно, уже к середине XXI в. потепление должно смениться похолоданием. Точность этого прогноза пока недостаточна, однако в любом случае естественный (природный) тепловой вклад в планетный климатический цикл неизмеримо больше, чем техногенный.

Во-вторых, для многих регионов более важен даже не глобальный тренд температуры, а локальные природные изменения, которые позволят лучше предсказывать нежелательные явления природы, связанные с изменениями климата в макрорегионе.

В заключение следует упомянуть о значении орбитального мониторинга для оценки природных изменений и назревающих катастроф. С помощью спутников можно отслеживать снегопады и мощность снежного покрова, таким образом предсказывая уровень паводка и возможные заторные наводнения. Кроме того, накоплен опыт регистрации пожаров по спутниковым снимкам и разработаны схемы повышения надежности оценки сезонной пожароопасности в рискованных регионах.

Несколько подобных работ уже успешно ведутся в научных учреждениях СО РАН: в Институте водных и экологических проблем (Барнаул), Институте леса (Красноярск) и др.

Литература

Глобальные изменения природной среды—2001 / Ред. Добрецов Н.Л., Коваленко В.И. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео». 373 с.

Калугин И.А., Дарьин А.В., Бабич В.В. 3000-летняя реконструкция среднегодовых температур Алтайского региона по литолого-геохимическим индикаторам донных осадков оз. Телецкое // Докл. РАН. 2009. Т. 426, № 4. С. 520—522.

Котляков В.М. Прошлое и будущее окружающей среды — свидетельствует гляциология // Наука в России, 2001. № 1. С. 107—111.

Малыгина Н.С., Папина Т.С., Швиковски М. Реконструкция поступления оксидов серы в атмосферу по данным ледникового ядра седловины г. Белуха // Лед и снег, 2010. № 2 (110). С. 29—34.

Математические модели циркуляции в океане: научное издание / Г.И. Марчук, В.П. Кочергин, А.С. Саркисян и др. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1980.

Папина Т.С., Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю. Сравнение реконструкций изменения температуры на Алтае за последние 750 лет по данным г. Белуха и данным осадкам Телецкого озера // Лед и снег, 2011. № 5 (113).

Саркисян А.С. Моделирование изменения климатических характеристик океанов // Наука и человечество. XXI век: Сб. М.: Фонд «Знание» им. С.И. Вавилова, 2009. Вып. 1. 327 с.

Bradley R.S., Briffa K.R., Cole J., Hughes M.K., Osborn, T.J. The climate of the last millennium // Paleoclimate, Global Change and the Future / Alverson K.D., Bradley R.S., Pedersen T.F. (Eds.). Springer Verlag, Berlin, 2003. P. 105—141.

Olivier S., Blaser C., Brüttsch S., Frolova N., Gäggeler H.W., Hendorson K.A., Palmer A.S., Papina T., Schwikowski M. Temporal variations of mineral dust, biogenic tracers and anthropogenic species during the past two centuries from Belukha ice core, Siberian Altai // J. Geophys. Res. Atmos. 2006. Vol. 111. D05309, doi:10.1029/2005JD005830.

Textor C., Graf H.-F., Timmreck C., Robock A. Emissions from volcanoes // Emissions of Atmospheric Trace Compounds, Series: Advances in Global Change Research, Vol. 18, Chapt. 7 / Cranier C., Artaxo P., Reeves C. (Eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. P. 269—303.

С. В. ДАНИЛОВ

ШОРООН ДОВ «земляной бугор»



Бескрайние центрально-азиатские степи, протянувшиеся от отрогов Хингана до Тянь-Шаньских гор, люди населяли еще в каменном веке. Однако полное их освоение началось лишь с развитием кочевого скотоводства. В память о кочевниках, покорителях степных просторов, на территории Монголии остались многочисленные курганы, городища, поминальные и культовые сооружения

Первые сведения о кочевниках содержатся в древнекитайских (иньских) гадательных текстах (XVII—XIII вв. до н.э.) – рифмованных надписях на костях животных и панцирях черепах, старейших письменных источниках в Восточной Азии. В них говорится о северных варварах, ведущих непривычный для оседлых земледельцев образ жизни.

Древнекитайский историк Сыма Цянь (II—I вв. до н.э.) ввел для описания кочевников фразеологический оборот, который стал широко использоваться китайскими летописцами: «Передвигаются вслед за скотом в поисках воды и травы». С этого времени и вплоть до позднего средневековья кочевники упоминаются в самых разных китайских, персидских, арабских и европейских письменных источниках.

Ключевые слова: археология, средневековая история, Центральная Азия, империя тюрков, империя Тан.
Key words: archaeology, mediaeval history, Central Asia, Turkoman empire, Tang empire



ДАНИЛОВ Сергей Владимирович – доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник Института монголоведения, буддологии и тибетологии СО РАН (Улан-Удэ). Заслуженный деятель науки Республики Бурятия, лауреат премии Республики Бурятия в области науки и техники

на стр. 92



Курган Шороон Дов. Монголия, 2009 г.

Часть кирпичей, закрывающих вход в погребальную камеру, вынута грабителями. Чтобы попасть внутрь, им пришлось еще разбить деревянные двери, находящиеся прямо за кладкой



В нишах коридора обнаружены разрисованные глиняные фигурки людей, отличающиеся друг от друга не только одеждой, но и чертами лица. Возможно, они имели портретное сходство с реальными людьми

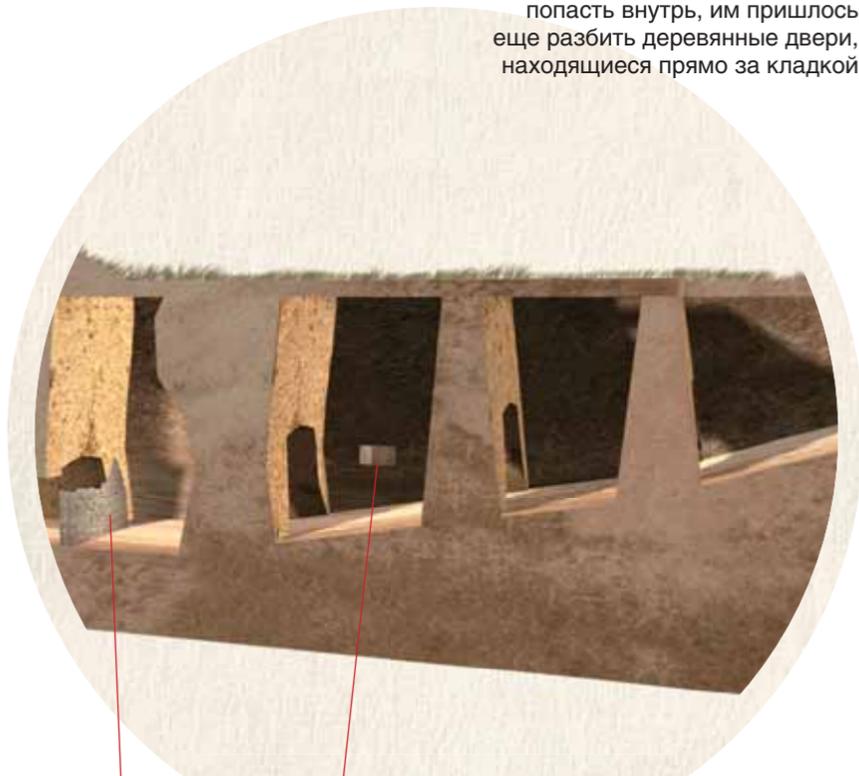
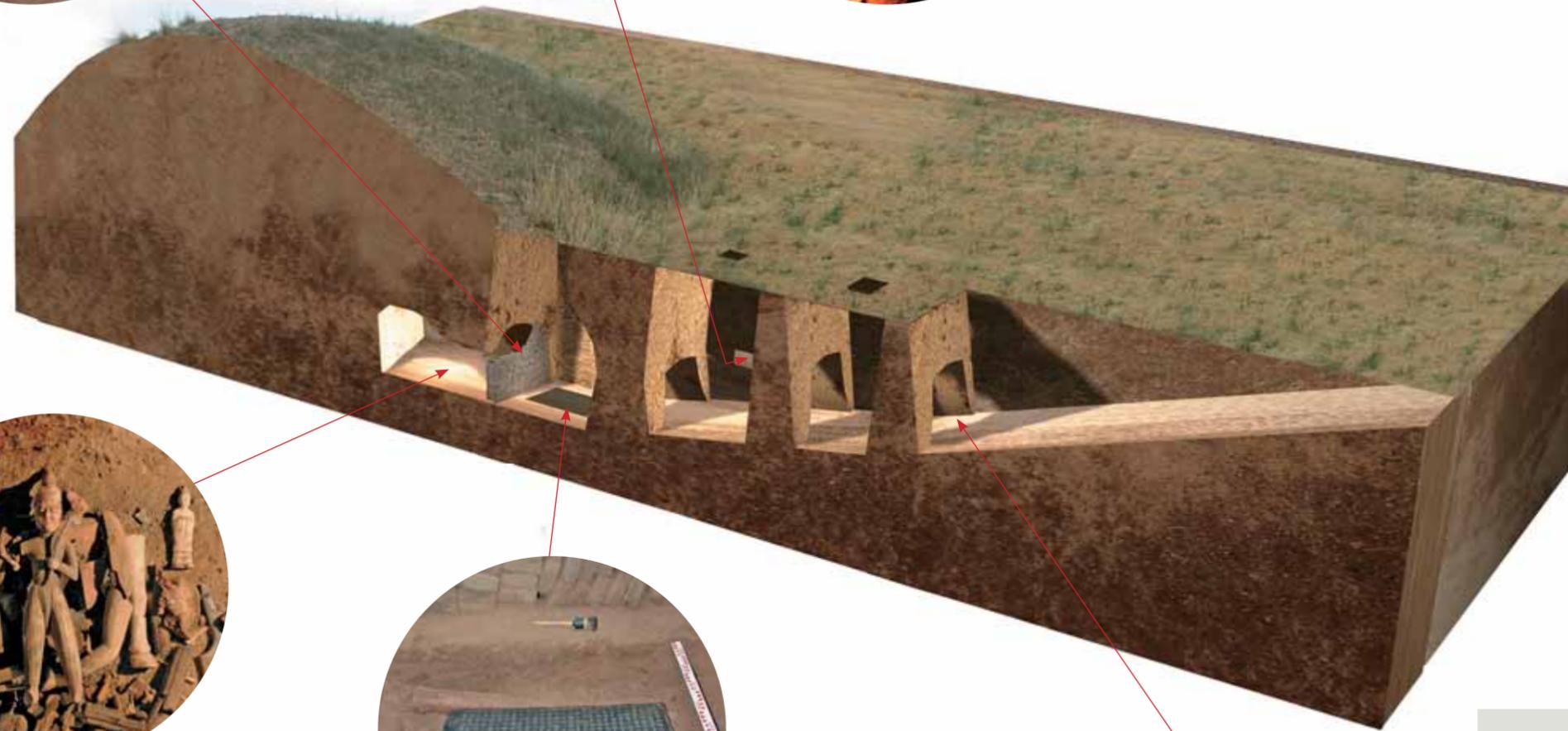


Схема кургана Шороон Дов. В погребальную камеру под курганом ведет коридор-дромос с четырьмя арочными перегородками. Его длина 21 м, ширина 2 м. Между второй и третьей арками в стенках коридора сделаны ниши. Четвертая арка, являющаяся входом в усыпальницу, заложена кирпичом. После возведения насыпи все пространство дромоса строители кургана заполнили землей. Пытаясь пробраться внутрь, грабители прокопали лаз от основания насыпи до входа в погребальную камеру (на схеме – заштрихованная область)

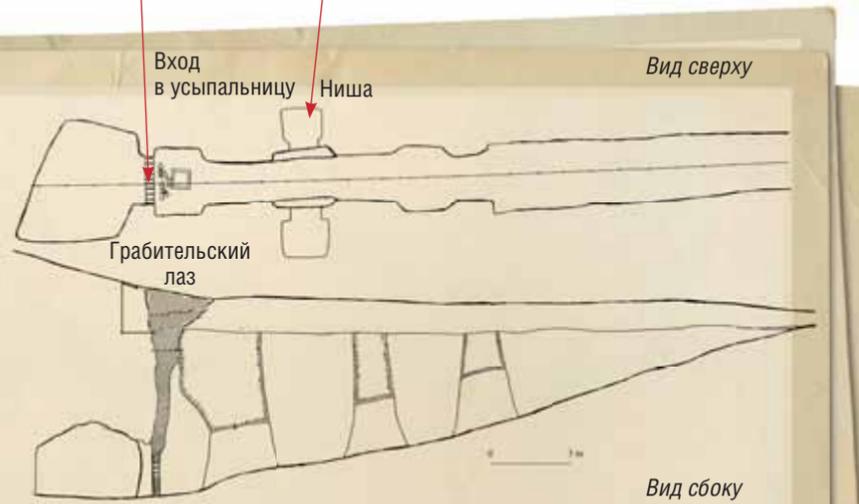


Весь пол в погребальной камере усыпан глиняными фигурками людей, лошадей, птиц, рыб и драконов, а также многочисленными деревянными деталями – остатками погребальной конструкции



На полу перед входом в усыпальницу лежат две гранитные плиты. На них иероглифами высечены надписи о том, кто и когда здесь был похоронен

Дополнительную прочность стенкам коридора придают арочные перегородки



Эпоха средневековья знаменуется появлением могущественных степных империй. В среде кочевников появляются собственные письменные источники на основе разработанных ими систем письма.

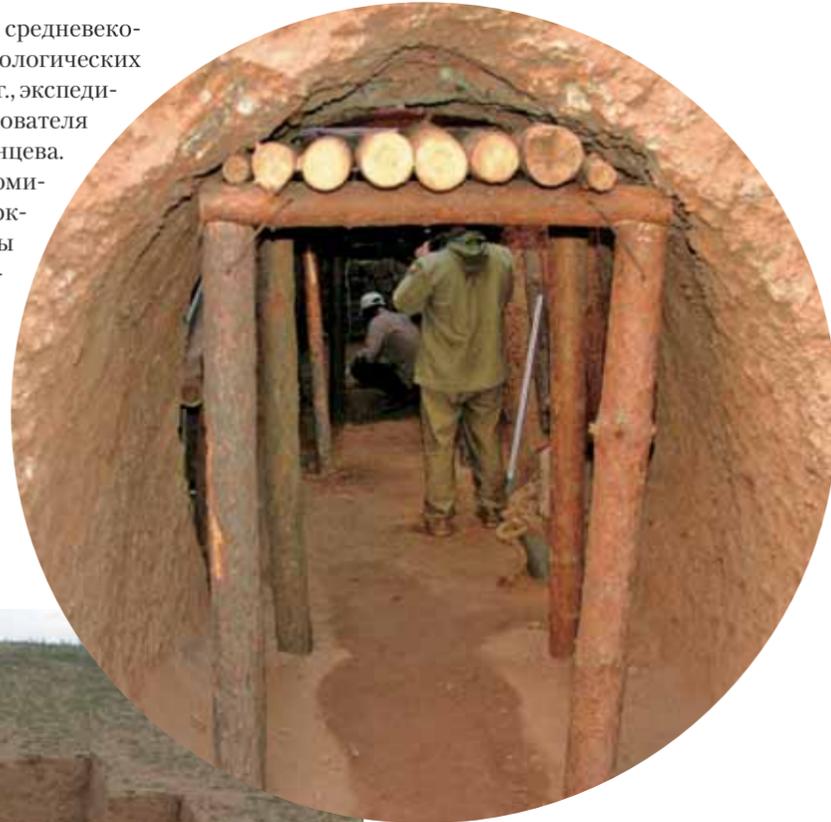
Монгольское средневековье

На территории Монголии древними и средневековыми кочевниками оставлено немало археологических памятников. Их изучение началось в 1889 г., экспедицией под руководством известного исследователя Сибири и Центральной Азии Н. М. Ядринцева. Тогда в долине Орхона были открыты поминательные комплексы времени Второго тюркского каганата (VII–VIII вв.), обнаружены развалины Орду Балыка – столицы Уйгурского каганата и Каракорума – столицы Великой империи Чингисхана.

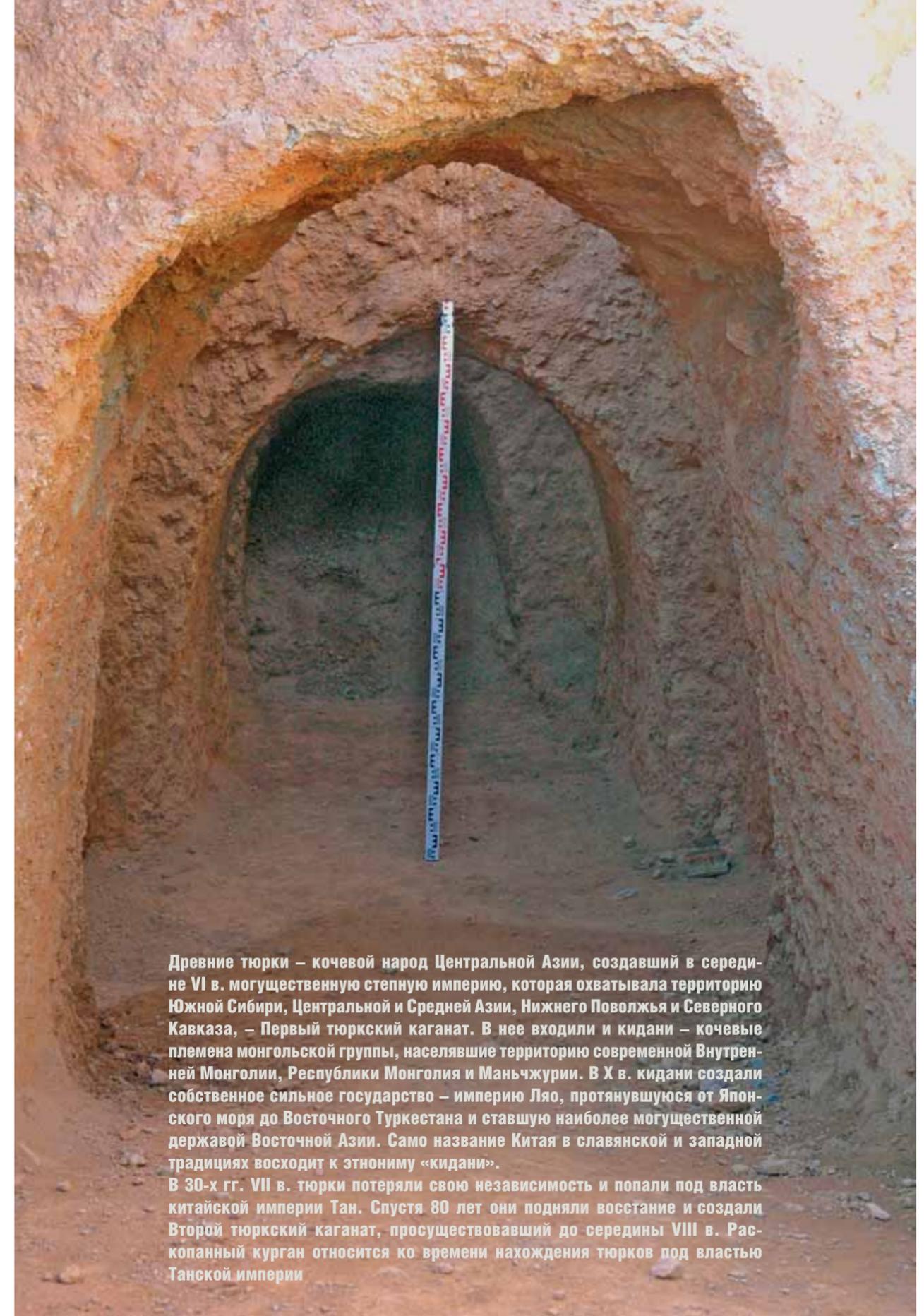
Наибольший вклад в изучение монгольского средневековья внесли совместные советско-монгольские экспедиции. В их ходе были изучены многочисленные памятники тюрков, уйгуров, киданей, монголов в бассейнах рек Орхон, Онон,

Керулен и Тола. Именно тогда в поле зрения исследователей попали невысокие (до 4–6 м высотой) курганы сферической формы.

Сопоставив их ареал с территорией распространения киданьских городищ, а также изучив особенности



Коридор, ведущий в погребальную камеру, вырублен в твердом каменистом грунте. В самом начале стенки коридора почти вертикальные, затем он расширяется, приобретая форму трапеции. Стенки хорошо сохранились не только за счет прочности каменистого материкового грунта, но и благодаря арочным перегородкам. Тем не менее на время проведения раскопок их дополнительно укрепили при помощи бревенчатых конструкций



Древние тюрки – кочевой народ Центральной Азии, создавший в середине VI в. могущественную степную империю, которая охватывала территорию Южной Сибири, Центральной и Средней Азии, Нижнего Поволжья и Северного Кавказа, – Первый тюркский каганат. В нее входили и кидани – кочевые племена монгольской группы, населявшие территорию современной Внутренней Монголии, Республики Монголия и Маньчжурии. В X в. кидани создали собственное сильное государство – империю Ляо, протянувшуюся от Японского моря до Восточного Туркестана и ставшую наиболее могущественной державой Восточной Азии. Само название Китая в славянской и западной традициях восходит к этнониму «кидани». В 30-х гг. VII в. тюрки потеряли свою независимость и попали под власть китайской империи Тан. Спустя 80 лет они подняли восстание и создали Второй тюркский каганат, просуществовавший до середины VIII в. Раскопанный курган относится ко времени нахождения тюрков под властью Танской империи



склепов киданей на Хингане и в Маньчжурии, ученые высказали предположение о том, что в курганах похоронены представители киданьской знати.

Ранее подобные погребения в Монголии не обнаруживали – лишь в Маньчжурии и Внутренней Монголии. Одни ученые объясняли это тем, что кидани увозили хоронить своих умерших на родину, другие – тем, что они тщательно маскировали захоронения.

Появление новых источников, письменных или археологических, могло пролить свет на эту проблему. В 2009 г. Международный институт по изучению кочевых цивилизаций ЮНЕСКО (Улан-Батор) и Институт монголоведения, буддологии и тибетологии СО РАН (Улан-Удэ) снарядили совместную экспедицию для проведения раскопок одного из курганов.

Земляной бугор

Курган в местности Шороон Дов (букв. «земляной бугор») был открыт монгольскими учеными в 2002 г. во время проведения разведочных работ по р. Тола (правый приток Орхона).

Курган, находящийся в 2,5 км от реки, представляет собой округлый холм высотой 5 и диаметром 20 м. На его вершине имеется достаточно ровная площадка с плотной щебеночно-глинистой поверхностью. Вокруг кургана просматривается ограда – небольшой вал, практически слившийся с поверхностью земли, – в форме прямоугольника, несколько вытянутого по линии север–юг. В ее углах видно расширение и повышение вала, возможно, это следы бывших угловых сооружений. С южной стороны в ограде сделан проход, по обеим сторонам от него также есть небольшие возвышения.

Самой примечательной деталью захоронения оказался *дромос* – вырубленный в твердом грунте коридор, ведущий в усыпальницу под насыпью. Подобные коридоры имели курганы, раскопанные на коренной территории киданей в Маньчжурии и на Хингане. Это косвенно подтверждало киданьскую версию происхождения кургана, однако основным аргументом в ее пользу явилась близость киданьского городища Хэрмэн Дэнж на берегу р. Тола.

Перед входом в погребальную камеру лежали две каменные плиты с эпитафией, выполненной китайскими иероглифами



Изображение человека, в честь которого, предположительно, был сооружен курган

На пути в усыпальницу

Раскопки памятника начались со вскрытия дромоса. Оказалось, что он состоит из четырех отсеков, разделенных арочными перегородками, которые были сделаны, судя по всему, для упрочнения стен.

В стенках дромоса, между второй и третьей арками, были обнаружены заложенные кирпичом ниши. В них хранились глиняные фигурки людей и лошадей, деревянные палочки с кусочками материи, изображающие знамена или штандарты, миниатюрные деревянные дверцы, брусочки с выструганными шипами и пазами.

Люди были изображены в разнообразной одежде, и хотя большинство фигурок оказалось сломано, на некоторых хорошо видны лица монголоидного типа с прорисованными бровями, тонкими усиками и небольшими бородками. Возможно, даже имелось портретное сходство с реальными людьми, поскольку лица обладают яркой индивидуальностью.

За третьей аркой на полу лежала отполированная каменная плита зеленоватого цвета с 12 китайскими иероглифами. Под ней обнаружилась еще одна плита с текстом из 750 иероглифов гораздо меньшего размера.

Последняя – четвертая – арка оказалась заложена кирпичом. Это и был вход в погребальную камеру. Когда-то своды арки поддерживали деревянные конструкции, от которых сохранились полукруглые детали, повторяющие форму и размеры ее левой части.

В верхней части арки кирпичи отсутствовали. Вероятно, их вынули или продавили внутрь грабители. Пытаясь добраться до усыпальницы, они разрушили кладку, разбили наружную дверь и выбили внутреннюю – от нее остались доски и медные петли.

из внутреннего и внешнего гробов, причем внешний был сделан из более массивных досок, на стенках внутреннего видны следы лакового покрытия. По углам доски соединялись при помощи специальных пазов и дополнительно прошивались железными гвоздями. Судя по следам сверления, вырубки и выпиливания, деревянные детали были изготовлены опытными столярами и плотниками.

Когда-то всю погребальную конструкцию обтягивала шелковая ткань – от нее сохранились обрывки материи.



Участники совместной российско-монгольской археологической экспедиции. Слева направо – С. В. Данилов, А. И. Бураев (Улан-Удэ), Г. Батболд, Л. Эрдэнболд (Улан-Батор)

При падении дверь повредила находившиеся за ней скульптуры каких-то существ, сидевших на задних лапах: возможно, львов, тигров или драконов – уцелели только нижние части туловищ и округлые подставки.

Пустая могила

Пол в погребальной камере был усыпан раскрашенными глиняными фигурками людей, лошадей, птиц, рыб и драконов, а также многочисленными деревянными деталями (досками, рейками, планками и т. д.), являвшимися частью какой-то легкой конструкции. Все вещи разбросаны, часть изделий под завалом сохранилась очень плохо. Понять, каким было погребальное сооружение, оказалось практически невозможно. И все же некоторые его особенности удалось прояснить.

В качестве постамента использовалось несколько досок, под которые с одной стороны был положен брус. Погребальное сооружение, стоявшее сверху, состояло

К стенкам гроба она крепилась при помощи небольших бронзовых гвоздей с шляпками и разрубленных на части бронзовых монет.

Останков человека внутри усыпальницы не было обнаружено. Вероятнее всего, это кенотаф (древнегреч. «пустая могила»), символический памятник умершему, тело которого покоится в другом месте.

Кидани, уйгуры, тюрки?

Открытие кургана Шороон Дов стало заметным событием в археологии Центральной Азии. Подобных ему на территории Монголии и России пока не обнаружено.

Конструктивные особенности кургана, такие как дромос с арками, ниши в боковых стенах, оказались настолько специфичны, что в ходе раскопок даже появились предположения о его уйгурской принадлежности. Интересно, что и лица глиняных фигурок отдалено напоминали изображения уйгуров на средневековых турфанских фресках.

Точку в споре о том, какой народ возвел усыпальницу, поставила расшифровка эпитафии.

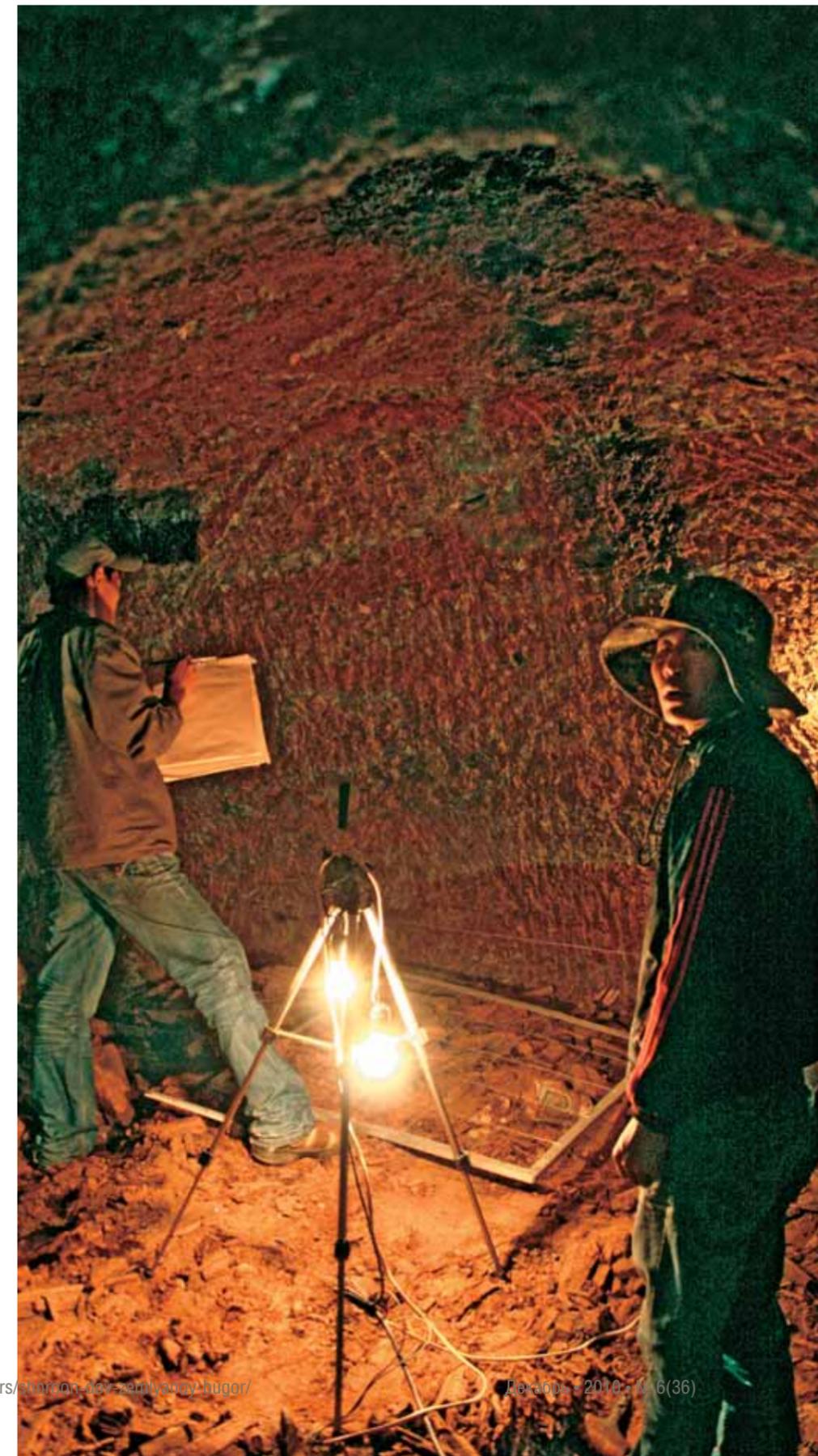
Способ начертания текста – светлые иероглифы на темном фоне – до конца не раскрыта. По одной версии, сначала высекли иероглифы, потом плиту покрыли черной краской или тушью, а затем прочертили их заново. По другой версии, плиту сначала покрыли черной краской, а после уже высекли знаки.

Расшифровка первых же строк дала неожиданный результат. Были определены иероглифы, обозначающие империю Тан, Алтай (Цинь Шань), Тянь-Шань и этнонимы *теле* и *пугу*. Как известно, *теле* были одним из самых многочисленных тюркских народов. В их состав входило племя *пугу*, проживающее в среднем течении Толю. Речь в эпитафии, вероятно, шла о переселении части народа *теле* с Тянь-Шаня на Алтай.

Но самым интересным оказалось время создания эпитафии – 665 г. Такая датировка относилась к тюркскому периоду истории Центральной Азии, что опровергало первоначальную гипотезу о киданьской принадлежности кургана. Но и с тюрками не все было однозначно...

Тюркский археологический комплекс достаточно хорошо изучен. Известны основные типы погребальных сооружений: каменные стелы с эпитафиями, захоронения с конем, каменные статуи, каменные оградки. Традиционен и погребальный инвентарь, в который входят вооружение, конское снаряжение, поясные наборы, серьги. Все предметы имеют настолько неповтори-

Для работы в погребальной камере от генератора провели электрическое освещение, чтобы участники экспедиции смогли составить план камеры и зарисовать находящиеся в ней предметы

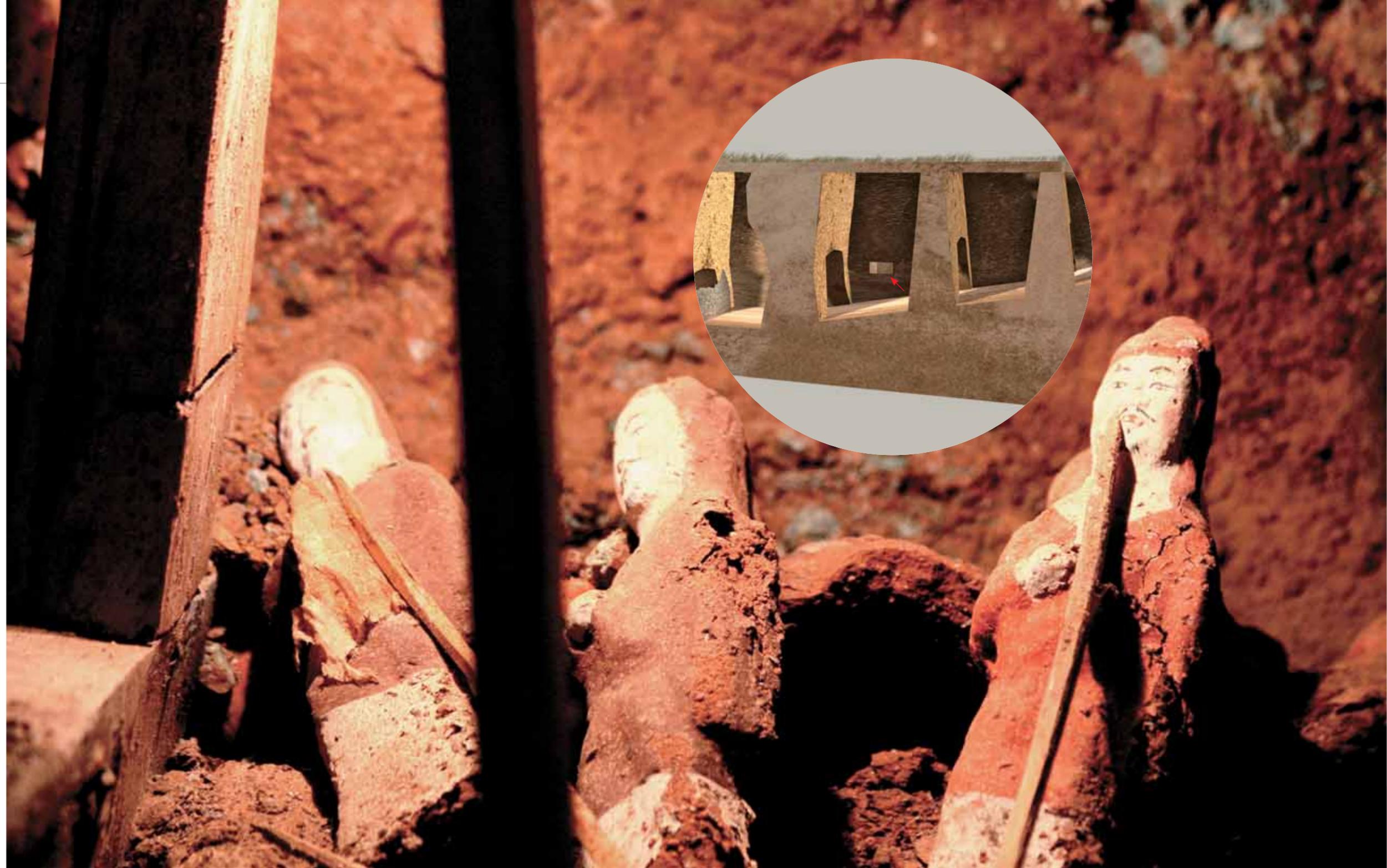


мый облик, что являются надежным индикатором тюркской культуры. Однако при исследовании кургана Шороон Дов ни один из перечисленных элементов комплекса обнаружен не был.

Может, разгадка кроется в личности человека, в честь которого возведен курган?

Как выяснилось, он родился на Алтае и принадлежал к тюркоязычному племени *тугу*. Ко времени возведения кургана тюрки уже несколько десятилетий находились под властью китайской династии Тан. Это был период между Первым и Вторым тюркскими каганатами, непростой в истории центрально-азиатских кочевников. Но, как свидетельствуют данные расшифровки найденной эпитафии, в иерархии танского общества этот человек занимал высокое положение – был генерал-губернатором провинции. Возможно, статусом умершего объясняется особая торжественность совершенного в его честь погребального обряда, вся его необычность.

Однозначно говорить об этом можно будет только после полного прочтения эпитафии. Работа над ее расшифровкой продолжается...



В стенках дромоса, между второй и третьей арками, обнаружены заложенные кирпичом ниши. В них хранились глиняные фигурки людей, животных, различные деревянные детали. У некоторых фигурок хорошо сохранились лица монголоидного типа с прорисованными бровями, усиками и бородками

В публикации использованы фотографии Б.В. Саганова, Л. Эрденболта, С.В. Данилова

Литература

Бичурин Н.Я. (Иакинф). *Собрание сведений о народах, обитавших в Средней Азии в древние времена*. М.; Л., 1950. Т. 1. 382 с.

Малов С.Е. *Памятники древнетюркской письменности. Тексты и исследования*. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951. 451 с.

Кляшторный С.Г., Султанов Т.И. *Государства и народы Евразийских степей. Древность и средневековье*. СПб.: Петербургское Востоковедение («Orientalia»), 2000. 320 с.

Кызласов Л.Р. *История Тувы в средние века*. М.: Изд-во МГУ, 1969. 212 с.

Степи Евразии в эпоху средневековья. *Археология СССР, т. XVIII*. М.: Наука, 1981. 304 с.

В. И. МОСОЛОВ

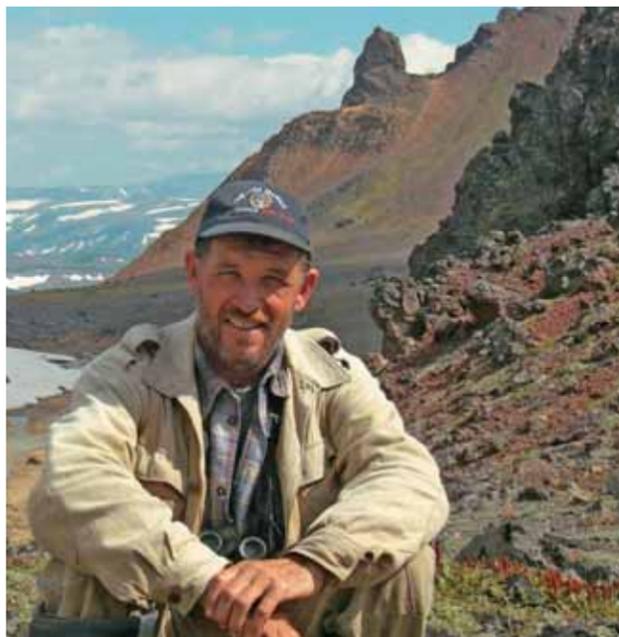
Камчатка заповедная



На всей территории Кроноцкого заповедника, от приморской зоны до горной тундры, встречается белая куропатка. Самцы куропатки в брачный период устраивают в кальдере вулкана Узон настоящие «петушиные» турниры. На фото – самец белой куропатки в брачном наряде вызывает на бой соперника

В 2009 г. старейшему заповеднику России исполнилось 75 лет. Расположенный на самом востоке страны, Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник был образован в 1934 г. на месте существовавшего с конца XIX в. соболиного заказника. И если первоначально заповедник выполнял прикладную задачу увеличения популяции промысловых видов, то теперь перед ним стоит глобальная цель – сохранить для потомков удивительный уголок Камчатки во всем его природном и ландшафтном многообразии, с уникальными гейзерами, вулканами, термальными источниками и замечательными животными. Журнал «НАУКА из первых рук» продолжает серию публикаций о Кроноцком заповеднике, начатую рассказом о знаменитой Долине гейзеров и репортажами из Долины Смерти и кальдеры затухающего вулкана Узон*. В этом номере речь пойдет о его обитателях

* «НАУКА из первых рук», 2007, № 1 (13); 2009, № 2 (26), 3 (27).



МОСОЛОВ Владимир Ильич – заместитель директора по научной работе ФГУ «Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник». Область научных интересов: экология и охрана диких копытных животных Камчатки. Автор более 30 научных и научно-популярных статей



История Кроноцкого заповедника началась с образования в окрестностях оз. Кроноцкое соболиного заказника. Столетиями Камчатка славилась своим пушным золотом – шкурками камчатского соболя, отличавшегося особо крупными размерами. Бесконтрольная добыча этого ценного зверя привела к тому, что в конце XIX в. он практически исчез с территории полуострова. Единственным местом, где он еще встречался, были окрестности оз. Кроноцкое.

На территории Кроноцкого биосферного заповедника находится множество уникальных природных объектов: Долина гейзеров и кальдера вулкана Узон, экосистема Кроноцкого озера и обширные ледники Кроноцкого полуострова, роща Пихты изящной и многочисленные термальные источники и озера. Известная на весь мир Долина гейзеров укрыта в одном из труднодоступных каньонов заповедника. Это единственное в Евразии гейзерное поле. Поражают его масштабы. На небольшой

территории сосредоточено более сорока гейзеров, множество термальных источников, горячие озера, грязевые вулканчики, паровые струи. В 2008 г. в результате всенародного опроса Долина гейзеров была признана одним из Семи чудес России, наряду с Байкалом, Петергофом, Мамаевым курганом, собором Василия Блаженного, Эльбрусом и столбами выветривания в Республике Коми



Лисицы Кроноцкого заповедника отличаются яркой окраской и крупными размерами. Они встречаются повсюду, но особенно много их в приморской зоне, где они любят устраивать себе норы. Лисички-огневки привыкли к присутствию человека и не боятся подходить близко к полевым стационарам и кордонам

В 1882 г. зоолог Б.И. Дыбовский обосновал необходимость создания в этом районе соболиного заказника. Инициатива исходила от местных охотников, понимавших необходимость прекратить бессистемное истребление соболя и сделать все возможное для сохранения мест его обитания. После создания заказника популяция соболя на Камчатке постепенно восстановилась.

В 1917 г. решением Департамента земледелия царского правительства кроноцкие охотничьи угодья были объявлены заповедными. Но утверждение заповедника в качестве государственного природоохранного учреждения произошло лишь через семнадцать лет – в 1934 г., на заседании Президиума ВЦИК. Этот день и считается днем рождения заповедника.

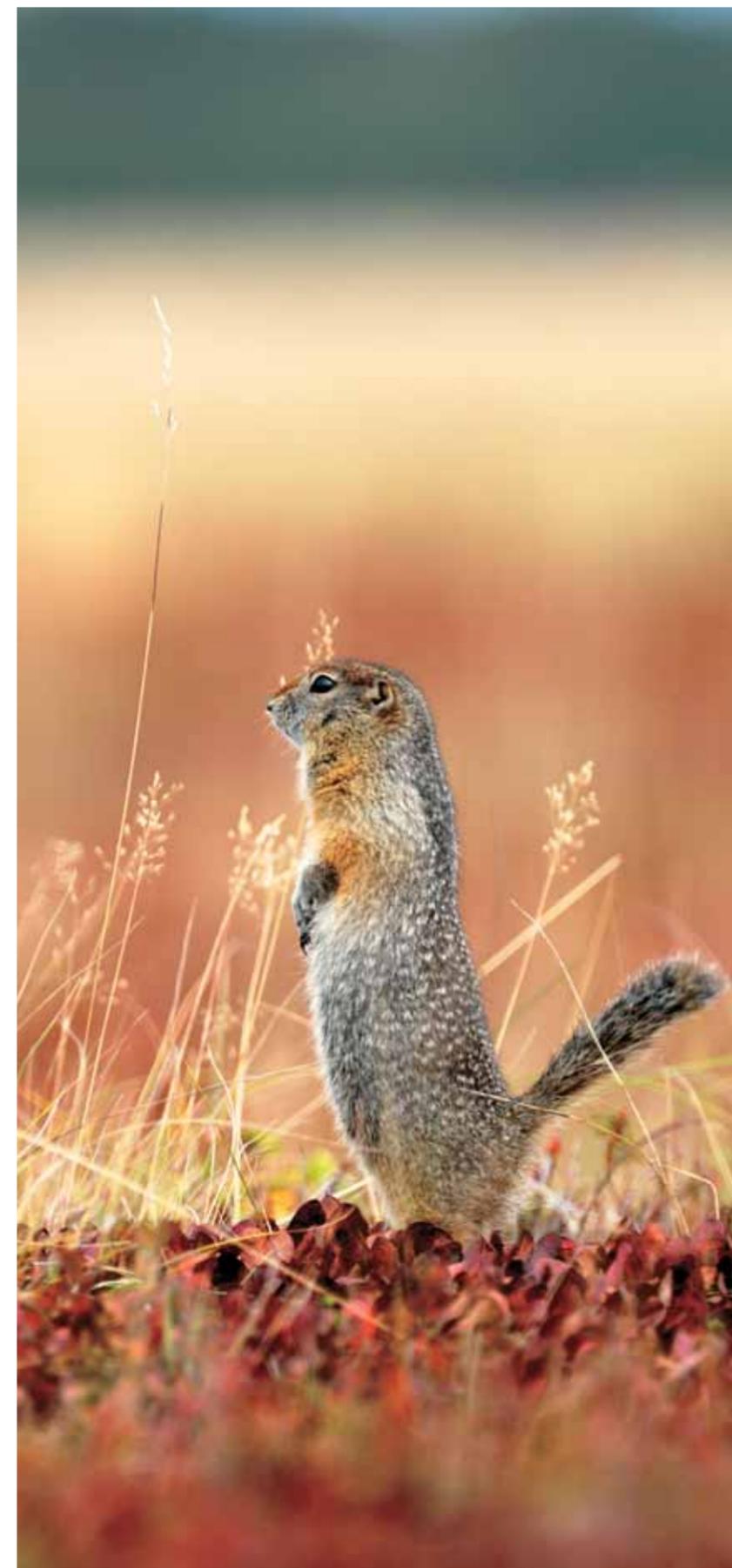
Камчатский суслик, маленький симпатичный грызун семейства беличьих, устраивает норы прямо на зарастающих лавовых потоках и шлаковых полях вулканов Кроноцкого заповедника. В приморской зоне он встречается редко, известна лишь одна колония в низовьях р. Кроноцкая

Дважды упраздненный

Первоначально Кроноцкий заповедник служил исключительно прикладным целям – был резерватом для охотничье-промысловых видов животных. Уникальные природные объекты, составляющие ныне гордость заповедника: Долина гейзеров, вулканы Гамченской группы и т.д., – на тот момент еще не были открыты. Это произошло позднее, в 1941 г. А вначале главной задачей было увеличение популяций камчатского соболя, дикого северного оленя, снежного барана, выдры.

В середине XX в. природоохранная политика советского государства претерпела ряд изменений. Были пересмотрены границы охраняемых территорий, многие заповедники закрыты, а их земли отданы под хозяйственные нужды. Такая печальная участь не миновала и Кроноцкий заповедник: в 1951 г. он был ликвидирован. Спустя восемь лет его, правда, восстановили, но ненадолго – в 1961 г. он был вновь закрыт.

На бывших заповедных землях разрешили охотничий промысел. Его вели с такой интенсивностью,





Обычная добыча беркутов – птицы, сурки и зайцы. Доставать рыбу из воды они не могут, но это не мешает им лакомиться отнерестившимся лососем. Действуя сплоченной группой, они отнимают добычу у своих более крупных соперников – белоплечих орланов, прирожденных рыболовов. На фото – чета беркутов за едой





Молодые побеги ивы и ольхи – любимая еда зайца-беляка зимой. Численность этого вида подвержена значительным колебаниям: в отдельные годы он становится одним из самых многочисленных видов заповедника, в годы же депрессий, наиболее частая причина которых – различные эпизоотии, встречается крайне редко

что вскоре численность основных видов промысловых животных стала ниже, чем в сопредельных заповеднику охотничьих угодьях. Практически полностью оказался истреблен дикий северный олень, подорвана популяция снежного барана и медведя, снизилась численность соболя, нанесен урон лежбищам сивучей.

В тот же период на территории заповедника проводились геологические изыскания нефти, строились планы создания гидроэлектростанций, создавались всесоюзные туристические маршруты. Все это не могло не сказаться на экологической обстановке края. Требовалось немедленное восстановление заповедника в прежних границах. Добиться этого удалось в 1967 г., причем инициативу проявили не биологи, а вулканологи – первый случай в истории заповедного дела России!

На территории заповедника вновь был введен режим охраны, стали строиться кордоны, прокладываться тропы, проводиться исследования малодоступных

участков. Расширилась и граница заповедника. В 1982 г. в его состав вошла трехмильная морская акватория Кроноцкого залива, что обеспечило надежную охрану редких видов морских млекопитающих, таких как сивуч, калан и антур (подвид тюленя обыкновенного). В 1992 г. заповедник пополнился на 43 тыс. га за счет включения участка девственной темнохвойной тайги в бассейне р. Камчатка.

В настоящее время площадь Кроноцкого заповедника составляет 1142 тыс. га, в том числе 135 тыс. морской акватории, что делает его одним из самых

Во время зимней бескормицы на незамерзающие озера Южной Камчатки собирается множество хищных птиц. Нерка – их излюбленное лакомство. За такую добычу беркуты и белоплечие орланы вступают в схватку друг с другом. *Справа* – белоплечий орлан, самый крупный рыбоядный хищник Дальнего Востока



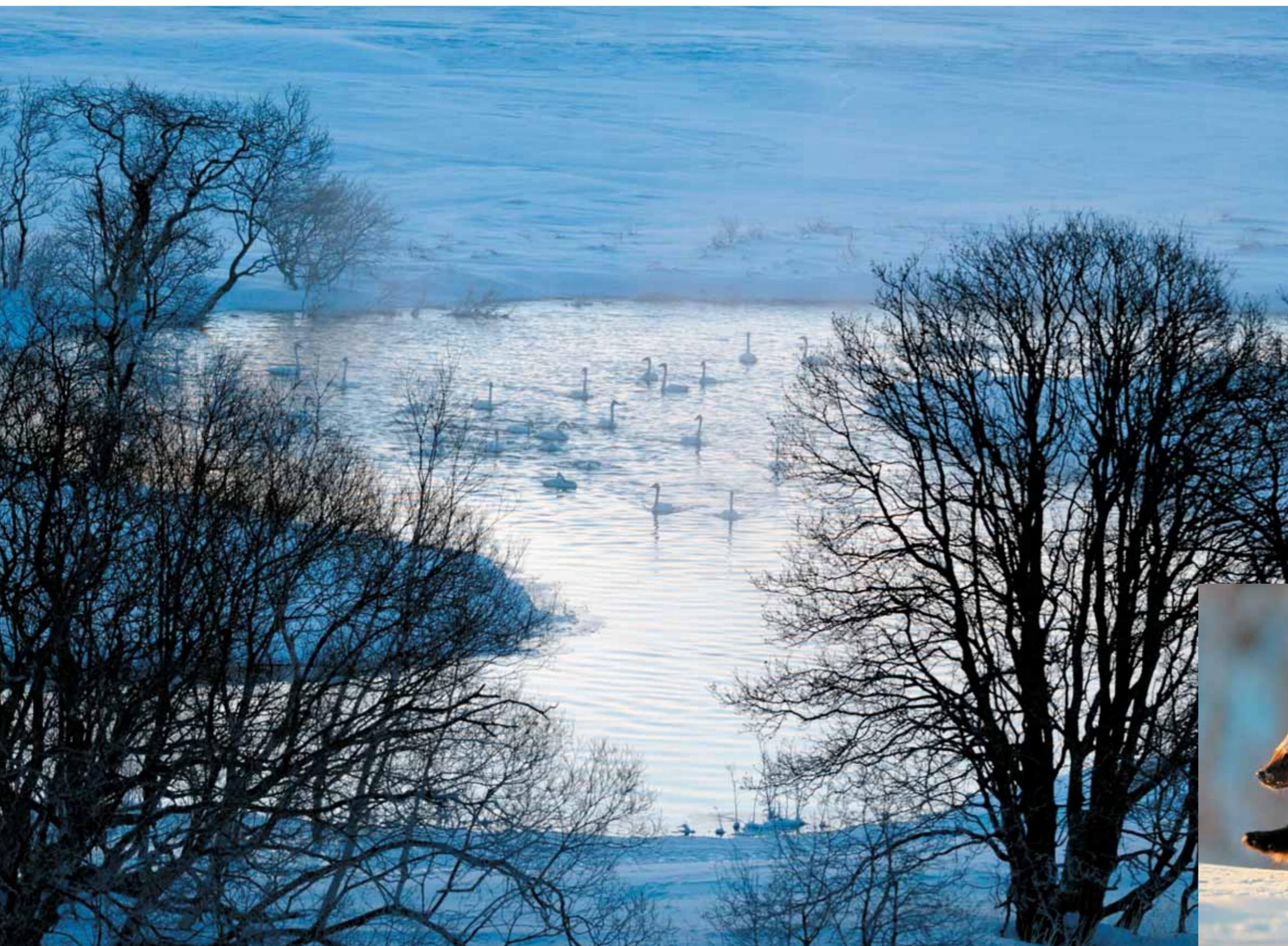


◀ История Кроноцкого заповедника началась в далекие 1880-е гг. с образования «соболиного заказника». В настоящее время популяция соболя на Камчатке стабильна, он – под надежной охраной государства. Этот зверек – активный хищник. Его добыча – полевки, мелкие птицы, отнерестившийся лосось

крупных заповедников в мире. На его землях представлено практически все природно-климатическое и видовое многообразие Камчатки, а это 85 % высших растений, 75 % птиц, 90 % млекопитающих всех видов, обитающих на полуострове. В их числе 11 видов растений, 12 видов млекопитающих, 35 видов птиц, занесенных в Красную книгу России.

Угроза сохраняется

После восстановления Кроноцкого заповедника в прежних границах пресс на охотничье-промысловых животных переместился на сопредельные территории. Многие виды оказались под угрозой исчезновения.



На незамерзающих озерах
Кроноцкого заповедника –
раздолье водоплавающим птицам.
Среди них гусь-гуменник, кряква и
редкий красавец лебедь-кликун

Большая удача, когда удастся запечатлеть
росомаху – осторожного хищника семейства куньих.
Лапы росомахи широкие и крепкие, и это позволяет
ей легко передвигаться по глубокому и рыхлому
снегу. Преследуя жертву, росомеха может за день
преодолеть более 40 км. В Кроноцком заповеднике
обитает около сотни животных, они встречаются
повсюду – от океанского побережья
до предгорий вулканов





Камчатский бурый медведь – один из крупнейших подвидов в мире. В 1980-е гг., в связи с возросшим спросом на медвежью желчь, поголовье камчатских медведей резко сократилось – с 12 тыс. особей до 6 тыс. Виной тому были не только действия браконьеров, но и все увеличивающиеся квоты на официальный отстрел. До сих пор этот вид является объектом охоты, и спрос на него в ближайшем будущем сохранится. В Кроноцком заповеднике обитает более 700 бурых медведей – это 10 % всей камчатской популяции. И пока существует охраняемая территория, численность медведей можно будет восстановить

Поначалу это были соболь, выдра, рысь, россомаха – традиционные объекты пушного промысла. В 1980-е гг. к ним добавился бурый медведь, что было вызвано ростом мирового спроса на его желчь. Опасное положение сложилось и с популяцией снежного барана – популярного охотничьего трофея. Немалую роль в сокращении численности диких животных сыграла бездумная хозяйственная политика местных руководителей.

Еще двадцать лет назад численность дикого северного оленя не вызывала опасений. Однако развитие домашнего оленеводства в местах традиционного зимнего выпаса диких оленей подорвала его кормовую базу, а охотничий прессинг, не учитывающий территориальное распределение оленей, быстро сократил его численность. В настоящее время на территории заповедника обитает около 2 тыс. диких северных оленей, что составляет 95 % численности всего камчатского поголовья. Для сравнения, в 1980-е гг. 500–600 животных, зарегистрированных в заповеднике, представляли всего 5–7 % от общего поголовья. Но и этой, практически единственной популяции на Камчатке грозит

исчезновение, поскольку олени – кочующий вид, и он может быть истреблен на неохранных сопредельных землях.

«Парящие земли» Кронок

Кроноцкий биосферный заповедник – не только удивительный уголок живой природы. На его территории расположено множество уникальных природных объектов. О некоторых из этих природных феноменов было известно с давних времен, о некоторых мир узнал только в XX в.

Единственная на Камчатке роща пихты изящной обрела известность почти триста лет назад, когда еще не были открыты Аляска и Командорские острова. «Этот лес у камчадалов охраняется как заповедный, так что никто из них не только рубить, но и прикоснуться к нему не смеет», – так записал в 1720 г. один из первых исследователей Камчатки С. П. Крашенинников. Другой исследователь, российский геолог К. Дитмар, обследуя в 1852 г. кальдеру вулкана Узон, где сосредоточено множество fumarol – выходов вулканических газов и пара, отметил, что местные жители боятся по-

сещать эти «парящие земли» из-за боязни вызвать на себя «гнев духов».

В 1941 г. произошли два знаменательных события, изменившие судьбу Кроноцкого заповедника. Обследуя труднодоступные земли, геолог Татьяна Устинова обнаружила в долине небольшого притока р. Шумная несколько гейзеров – фонтанов горячей воды и пара. Это место впоследствии получило название Долины гейзеров. А спустя некоторое время зоолог Виктор Гаврилов нашел целую гряду действующих вулканов, один из которых позже был назван его именем.

Сделанные открытия были настолько значительны, что переориентировали основную деятельность заповедника в сторону изучения активного вулканизма и геотермальных экосистем Камчатки.

В 1986 г. решением Международного комитета ЮНЕСКО Кроноцкий заповедник приобрел международный статус и его территория была включена в глобальную сеть охраняемых биосферных резерватов Земли, а в 1996 г. он вместе с находящимся в его ведении государственным заказником федерального значения «Южно-Камчатский» вошел в список объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО в составе номинации «Вулканы Камчатки».



В Долине гейзеров установлены веб-камеры, чтобы любители природы со всего мира могли любоваться уникальными природными объектами и наблюдать за жизнью обитателей Кроноцкого заповедника

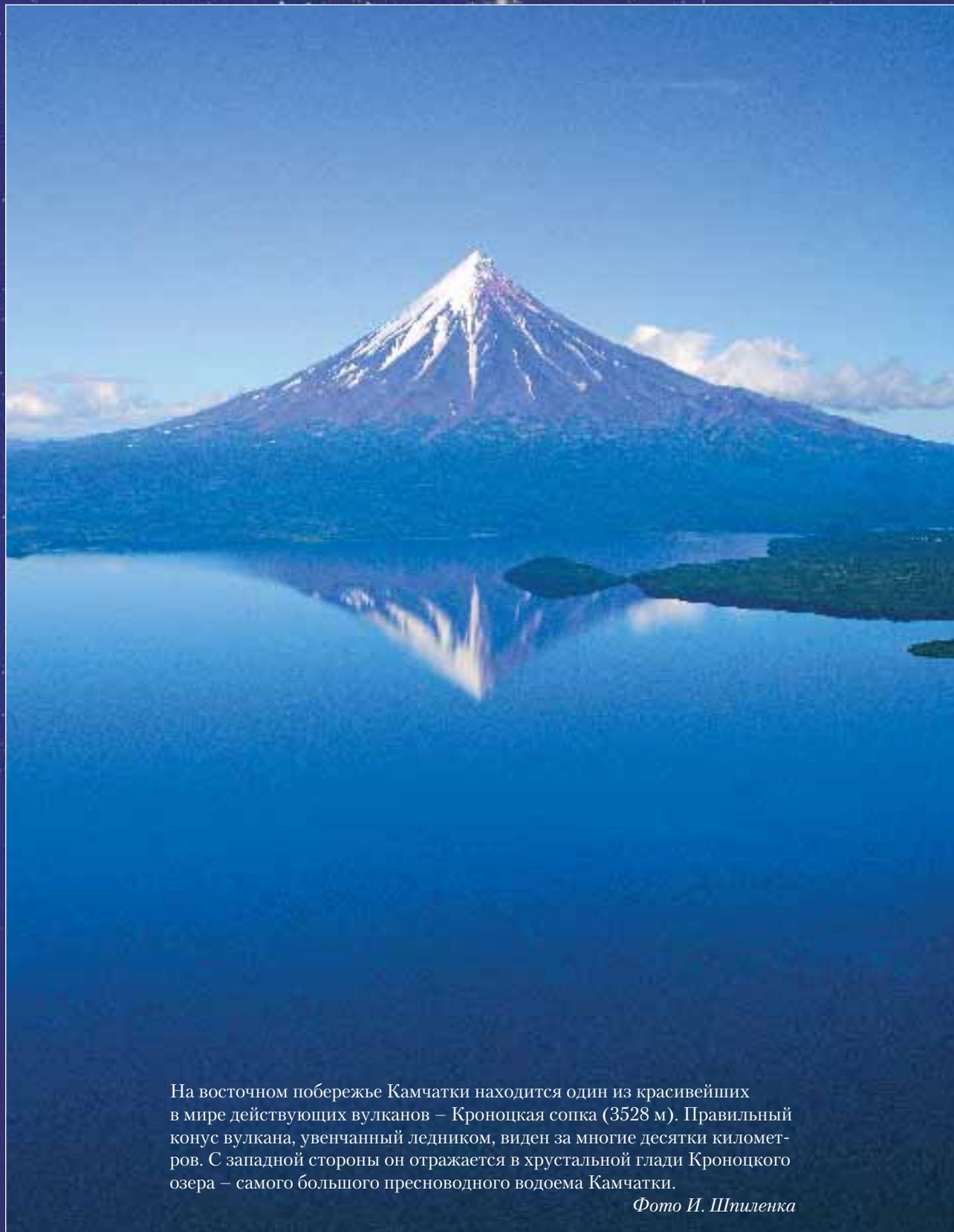
В акватории заповедника находится одно из самых крупных на Камчатке лежбищ сивуча, или морского льва, занесенного в Красную книгу России. Ранней весной на скалах появляются самцы-секачи. Они делят между собой территорию лежбища, чтобы в начале лета, когда начинают прибывать самки, иметь возможность сформировать из них гаремы

Трудно переоценить роль Кроноцкого заповедника в сохранении первобытной природы Камчатки. Но одной лишь охранной и научно-исследовательской деятельностью работа сотрудников заповедника не ограничивается. Много времени они уделяют просветительской работе.

В Кроноках создан Музей природы, знакомящий посетителей с флорой и фауной Камчатки, регулярно проводятся экскурсии в Долину гейзеров и кальдеру вулкана Узон, организуются многодневные путешествия, погружающие посетителей в мир дикой природы. Для подрастающего поколения сотрудники заповедника проводят уроки биологии и краеведения, организуют различные детские конкурсы.

Многие территории заповедника еще не освоены, но у них большие рекреационные перспективы. Геотермальные источники и горячие ключи могут стать прекрасной базой для бальнеологических и медико-оздоровительных учреждений. А фантастические пейзажи Камчатки, ее удивительное ландшафтное разнообразие способны привлечь любителей активного отдыха со всего света.

В публикации использованы фотографии И. Шпиленка



На восточном побережье Камчатки находится один из красивейших в мире действующих вулканов – Кроноцкая сопка (3528 м). Правильный конус вулкана, увенчанный ледником, виден за многие десятки километров. С западной стороны он отражается в хрустальной глади Кроноцкого озера – самого большого пресноводного водоема Камчатки.

Фото И. Штиленка