

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

6 (12) декабрь 2006



АРХЕОЛОГИЧЕСКАЯ
СЕНСАЦИЯ
В МОНГОЛИИ

ТАИНСТВЕННЫЕ
АБЗИМЫ

АЛКОГОЛЬ
В СИБИРИ XVIII В.

БРОСИТЬ ВЫЗОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ



ЗАГАДКИ
«ржавой» ДНК

ISSN 1810-3960



977181039602712

НАУКА ИЗ ПЕРВЫХ РУК

декабрь 2006



Дорогие друзья!

Часто говорят, что XX век был веком физики, а новое столетие станет временем биологии. При этом современную биологию чаще всего рассматривают под практическим углом — что она может дать, например, для медицины или для сельского хозяйства. Однако не следует забывать, что в сердце биологии всегда были общенаучные вопросы. Что отличает живое от неживого? Как живые системы с момента их появления миллиарды лет назад смогли развиться до сегодняшнего высокоорганизованного состояния и породить разум? Чтобы найти ответы, необходимо очень хорошее понимание фундаментальных процессов, протекающих в живых организмах.

В центре нового выпуска нашего журнала описание нескольких таких процессов, исключительно важных и с точки зрения их роли для жизнедеятельности, и с эволюционной точки зрения. Один из них — трансляция, в ходе которой синтезируются все белки у современных организмов. Возникновение сложной машины трансляции, рибосомы, ознаменовало переход от первобытного «мира РНК» к новой клеточной биохимии.

Другой очень древний процесс, репарация ДНК, предохраняет клетки от мутаций — без него жизнь не

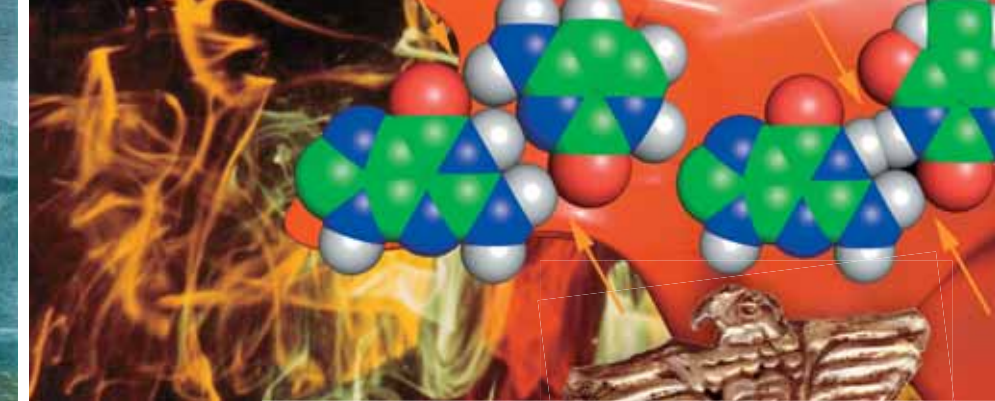
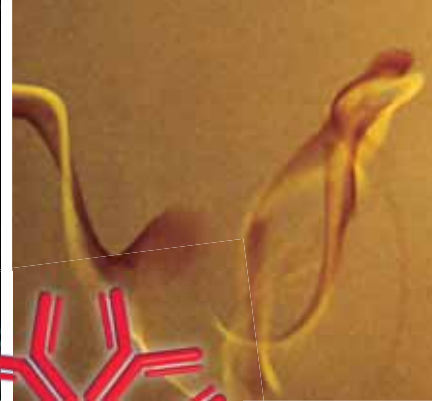
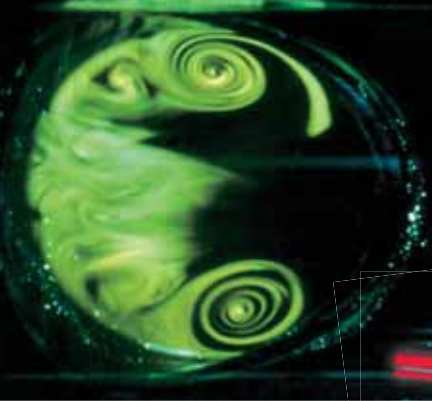
могла бы существовать, но для плодотворной эволюции нужен правильный баланс между репарацией и мутагенезом. Еще одна защитная система, иммунитет, — сравнительно недавнее изобретение эволюции, не перестающее удивлять исследователей.

Исследования по всем этим, да и многим другим, направлениям современной фундаментальной биологии ведутся в институтах Сибирского отделения, причем успешно, на мировом уровне. Зная основы, на которых построена жизнь, можно уже продвигаться и в прикладных направлениях, четко представляя себе цели и пути их достижения.

Это соотношение фундаментальной и прикладной науки, впрочем, применимо не только к наукам о жизни. В нашем выпуске — пример из наук о Земле, работы ученых из иркутского Института земной коры и томского Института физики прочности и материаловедения СО РАН, разрабатывающих способы управления деформациями в сейсмоопасных разломах. Это — первая реальная заявка на возможный контроль над землетрясениями, доказательством чего служит патент, полученный нашими учеными.

Российская прикладная и фундаментальная наука продолжает прирастать сибиряками!

академик Н. Л. Добрецов,
главный редактор



ВИХРИ, подобные ТОРНАДО, можно смоделировать буквально в «стакане воды». **С. 92**



.01

6 НОВОСТИ НАУКИ

.02

ЧЕЛОВЕК

24 Д. О. Жарков
Загадки «ржавой» ДНК

36 Г. А. Невинский
Таинственные абзимы

46 Г. Г. Карпова, Д. М. Грайфер, А. А. Малыгин
Рибосома — минифабрика по производству белков

.03

НАУЧНАЯ МАСТЕРСКАЯ

54 В. В. Ружич, С. Г. Псахье
Бросить вызов землетрясению



В ПОГРЕБЕНИИ представителя знати ХУННУ сохранилось все, кроме гроба с самим погребенным... **С. 14**

На режим смещений СЕЙСМОАКТИВНЫХ разломов можно влиять ТЕХНОГЕННЫМИ воздействиями. **С. 54**

На первой стороне обложки: фрагмент Пространственная структура белка Frg — фермента, способного узнавать и вырезать из ДНК окисленное основание 8-оксогуанин (С. 24)

Специальные ФЕРМЕНТЫ ремонтируют окислительные ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК, предотвращая МУТАЦИИ. **С. 24**

Небезопасные АУТОИММУННЫЕ процессы, вызванные БЕРЕМЕННОСТЬЮ, выключаются с окончанием ЛАКТАЦИИ. **С. 36**

О «КУЛЬТУРНОМ ПИТИИ» участников Второй Камчатской экспедиции и ПЬЯНСТВЕ служилых СИБИРЯКОВ в XVIII в. **С. 64**

.04

ОТКРЫТИЕ СИБИРИ

64 А. Х. Элерт
Русские сибиряки XVIII века и алкоголь. По материалам Второй Камчатской экспедиции

84 В. В. Ламин
Версты в будущее. Предыстория ТРАНССИБА

.05

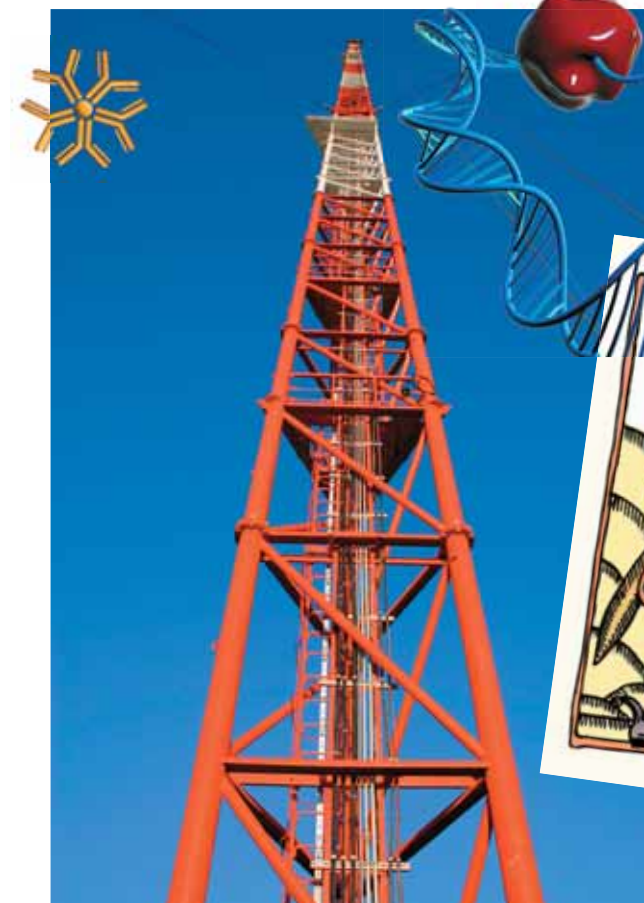
ФАКУЛЬТЕТ

92 Э. Краузе
Многоликие вихри

.06

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ

108 А. А. Иконников-Галицкий
Догээ-Баары — сердце сфинкса



Красноярская Эйфелева

В глухом таежном крае, куда даже летом можно добраться только по воде и на вездеходе, в конце сентября 2006 г. состоялось открытие научной станции, предназначенной для мониторинга парниковых газов в приземных слоях атмосферы лесных экосистем бореальной зоны, к которым относятся леса Сибири.

Станция создана Институтом леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск) и Институтом биогеохимии об-ва Макса Планка (Йена, Германия) в рамках проекта Международного научно-технического центра. Расположена она на базе Средне-Енисейского стационара Института леса; большая (150x150 км) территория, с которой будут собираться данные наблюдений, занята болотами, хвойными и лиственными лесами.

Идея создания подобной станции возникла еще в 2000 г., строительство же, осложненное удаленностью участка от транспортных путей и промышленных центров, фактически продолжалось в течение трех «бесснежных» сезонов.

«Сердце» новой станции — металлическая мачта высотой 302 м (всего лишь на 22 м ниже Эйфелевой башни), на которой

установлены метеоприборы и проведены трубопроводы для откачки образцов воздуха с различных высот для последующего анализа на комплексной измерительной системе, установленной в лабораторном бункере.

Современная научная аппаратура позволяет получить данные по концентрациям основных парниковых газов и соотношению в них изотопов углерода, азота и кислорода, определить характеристики аэрозолей, находящихся в воздухе. Благодаря этому можно оценить циркуляцию углерода, определить механизм атмосферного переноса воздушных масс, выявить антропогенные и биогенные источники парниковых газов.

Измерения, производимые с высотных мачт — новый подход в исследованиях связей между климатом, атмосферой и экосистемами. Измерение концентраций парниковых газов на высоте 200—300 м над земной поверхностью позволяет изучить относительно однородную часть атмосферы над большой территорией, а также избежать «шума», вызванного суточными изменениями в фотосинтезе растений. Лесные экосистемы Сибири в качестве природных поглотителей атмосферного углерода мало изучены, поэтому непрерывные измерения параметров

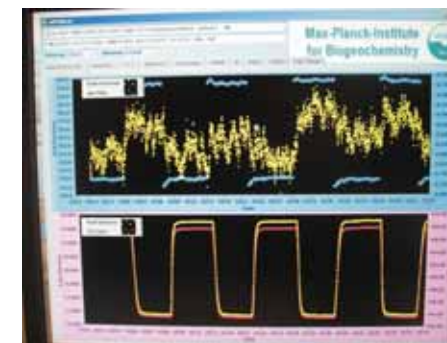


Фото М. Хильшера

приземного слоя атмосферы в сочетании с данными по экосистемам необходимы для расчета модели баланса углерода в масштабе континента.

Для Сибирского отделения станция высотной мачты — не просто уникальный научный объект, но полигон для междисциплинарных исследований. Здесь планируются совместные работы с рядом других институтов СО РАН. Предполагается, что дальнейшая работа на

«высоком уровне» будет идти в рамках российско-германской лаборатории с сокращенным названием ZOTTO (*Zotino Tall Tower facilities*). И это вполне закономерно — ведь у науки, как и у воздушного океана, не должно быть национальных границ...

Академик РАН Е.А. Ваганов, к.с.-х.н. С.В. Верховец (Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск)



Коллектив лаборатории лазерных технологий ИАиЭ СО РАН — лауреаты выставки «Сибполитех-2006»

Гран-при — за хорошее зрение

Главный приз выставки «Сибполитех-2006», состоявшейся в Новосибирске, получил «Бифокальный искусственный хрусталик глаза»

Призом сибирской ярмарки отмечен искусственный хрусталик, разработанный в лаборатории лазерных технологий новосибирского Института автоматики и электрометрии СО РАН совместно с ЗАО «ИнтраОЛ», НПП «Репер» и Новосибирским филиалом МНТК «Микрохирургия глаза».

Имплантация искусственного хрусталика — единственный выход при катаракте (помутнении хрусталика), приводящей к частичной или полной потере зрения. Ежегодно в мире производится около 3-х миллионов таких операций, а потребность в них выше на порядок. В России их число составляет около 300 тысяч в год, в Новосибирске — 8–10 тысяч.

Традиционные хрусталики являются однофокусными, поэтому после их имплантации пациентам для хорошего зрения как вблизи, так и вдаль, требуется дополнительная коррекция очками. Интраокулярная линза «МИОЛ-Аккорд», состоящая из рефракционной линзы и дифракционной структуры, имеет два оптических фокуса. Она работает подобно обычному хрусталику, аккомодированному на бесконечность, но

при этом на сетчатку могут проецироваться и ближние предметы. Поэтому после хирургического лечения катаракты пациенты могут смотреть телевизор и читать газету без очков.

Новые бифокальные линзы были успешно испытаны новосибирскими окулистами — на сегодня уже более ста человек, в том числе и пожилого возраста, обрели зрение и смогли вернуться к полноценной жизни благодаря этой столь практически и социально значимой научно-технической разработке.

д. т. н. А. Г. Полещук (Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск)



Директор ИАиЭ СО РАН, чл.-корр. РАН А. М. Шалагин с наградой



Сибирские «звездочеты»

«СибАстро-2006» — первый сибирский форум астрономов-любителей

«СибАстро-2006» состоялся в середине сентября 2006 года под Новосибирском. Главным организатором выступил «Новосибирский приборостроительный завод» (НПЗ), вот уже тридцать лет выпускающий популярные среди любителей астрономии телескопы марки ТАЛ.

Хотя подобные starparty за рубежом обычны, любители астрономии в России до сих пор собирались лишь на ежегодном московском фестивале «Астрофест». Первый зауральский форум собрал 220 фанатов из нескольких сибирских городов. Престижности мероприятию добавило и участие в нем дважды героя Советского Союза, летчика-космонавта СССР Г. М. Гречко.

В отличие от московского форума, в «СибАстро-2006» принимали участие учителя и школьники, для которых был организован специальный астрономический конкурс. Главный приз — телескоп ТАЛ-75R НПЗ — достался команде из Омска.

После докладов и просмотров фильмов участники спешили к телескопам, чтобы в полной мере насладиться вечерним звездным небом в компании с опытными наблюдателями. По словам руководителя томского астрономического кружка А. М. Киреевой, за одну ночь она увидела интересных небесных объектов больше, чем за всю жизнь.

Все участники форума были единодушны: такое замечательное мероприятие необходимо сделать ежегодным. И дело здесь не только в звездах — ведь, как выразился один из участников, нечасто удается встретить «такое сообщество настолько порядочных, общительных и интересных людей».

С. Масликов (Оргкомитет «СибАстро-2006», Новосибирск)





Маршрут «Татьяны» выбран по рекомендациям ученых Байкальского музея так, чтобы можно было увидеть наиболее интересные места на дне Листвяничного залива



Виртуальный батискаф

В Байкальском музее Иркутского научного центра СО РАН открылась новая экспозиция — посетителям музея предоставляется уникальная возможность погрузиться в байкальские глубины с помощью «виртуального» батискафа

Здесь все как в настоящей субмарине. И тяжелая стальная дверь, которая с лязгом задраивается вслед за вошедшими «гидронавтами», и иллюминаторы по бортам...

Первое «погружение». Аппарат вздрагивает и выходит из ангара на простор Байкала. Батискаф опускается, в иллюминаторах проплывают живые картины подводного мира озера. Игра солнечных лучей на сочной зелени мелководья постепенно сменяется вечным мраком предельных глубин. Мощный прожектор выхватывает участки дна: оказывается, и здесь присутствует жизнь!

Все пятнадцать минут экскурсии поддерживается полная иллюзия реального погружения. Здесь и бортовые шумы, и переговоры экипажа с поверхностью с характерными для гидрофонов помехами, и глубиномер рядом с большим курсовым иллюминатором. И, конечно же, идеальная синхронность картинки — дело рук главного специалиста музея по веб-технологиям Василия Маслюкова, исполнившего в первом погружении роль капитана.

Замечательно срежиссированное погружение и заканчивается очень эффектно: внезапно появившаяся нерпа подплывает к курсовому иллюминатору. Любопытная мордашка смотрит прямо в глаза людям, раздается негромкий удар носом по стеклу. Публика в восторге! Необычная экскурсия по самому глубокому озеру в мире надолго запомнится всем посетителям этого удивительного «подводного» аттракциона.

Те же, кому в виртуальном погружении не достает «морской» романтики, могут воспользоваться «Татьяной» — новым катером необычной конструкции, днище которого выполнено в виде двух рядов окон из стекла особой прочности. Владелец катера



Заместитель председателя Президиума ИНЦ СО РАН чл.-корр. РАН Н. И. Воропай, директор Байкальского музея В. А. Фиалков и сотрудник музея В. С. Маслюков

ООО «Профитранс» использует новинку в кооперации с Байкальским музеем. Теперь посетители музея, ознакомившись с экспозицией, могут в течение получаса вживую наблюдать подводную флору и фауну озера. Погода не должна влиять на расписание рейсов: судно оборудовано радаром, мощными подводными прожекторами, и для любителей экзотики возможны даже ночные экскурсии.

*В. Короткоручко (ИНЦ, Иркутск)
Фото автора*



Преемники графа Уварова

23—28 октября 2006 г. в Новосибирске состоялся Всероссийский археологический съезд «Современные проблемы археологии России»

Этой осенью в Новосибирске впервые за последние сто лет собрались вместе исследователи со всей России, активно работающие в области археологии. Участниками съезда были представители не только академических учреждений, но и вузов, музеев, органов охраны памятников, даже — негосударственных предприятий археологического профиля.

Новосибирск был выбран местом проведения форума не случайно. В последние, нелегкие для страны и науки десятилетия, новосибирский Институт археологии и этнографии СО РАН стал одним из лидирующих центров археологических исследований — отсюда отправляются экспедиции в разные концы Евразийского континента, от Ирана до Дальнего Востока. Этому институту во главе с директором академиком А. П. Дервянко и выпала честь спустя столетие продолжить дело графа А. С. Уварова — организатора дореволюционных съездов.

История российских археологических съездов началась во второй половине XIX в. Они проводились каждые три года в разных городах России вплоть до начала Первой мировой войны. Съезды не только способствовали развитию русской археологии, но и возрождали интерес к родной истории в широких кругах общества.

Одной из важнейших тем, обсуждавшихся на нынешнем съезде, были проблемы сохранения культурного наследия России. Съезд отметил «неудовлетворительное состояние охраны археологического наследия в стране, масштабные разрушения археологических памятников в зонах современного строительства...». Съезд принял решение обратиться в высшие государственные органы с просьбой ускорить ратификацию подписанной Россией в 2005 г. «Европейской конвенции об охране археологического наследия» и учесть предложения РАН при принятии соответствующих законов.

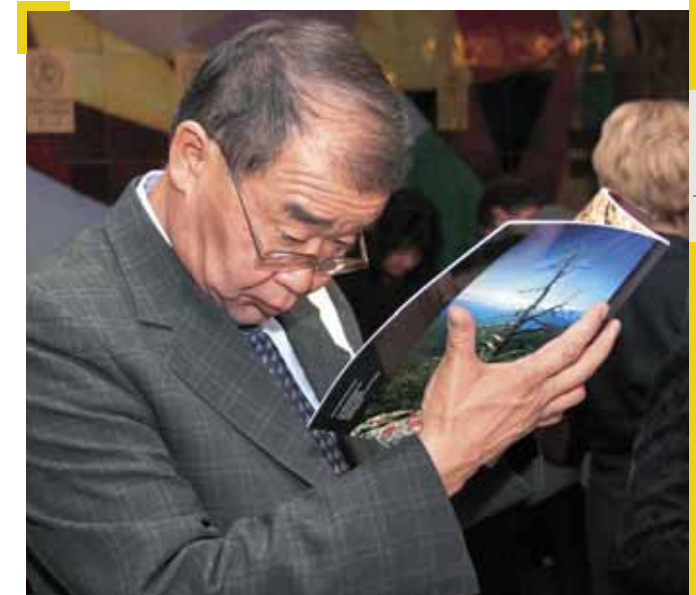
Кроме того, ученые предложили открыть специальность «археология» в системе высшего государственного образования. Необходимо растить новое поколение археологов — специалистов по так называемой «превентивной» археологии, в чью задачу входит обследование территории перед строительством народно-хозяйственных объектов. Нуж-

ны широко образованные и юридически подкованные специалисты, способные оценить любые археологические объекты, будь то скифский курган или средневековый клад.

Прошедший съезд оказался, несомненно, чрезвычайно полезным для каждого ученого. Личное общение для археологов крайне важно, так как никакая научная публикация не может передать всей информации о памятнике. По словам многих участников, на съезде они «получили возможность обсудить многие проблемы, которые не решались годами». А присутствовавшие на форуме студенты-археологи смогли не только прослушать доклады маститых профессоров, по книгам которых они учатся, но и задать им вопросы.

Следующий съезд планируется провести в 2008 г. в одном из старинных городов европейской части России. Традиция, однажды возрожденная, не должна прерваться — ее продолжение является естественным и органичным следствием развития нашей науки.

Е. Кузьменкова (Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск). Фото В. Кавелина





▼ Монгольские студенты вывозят грунт из кургана по дромосу — глубина еще позволяет. Сентябрь 2006 г.



На 13 метров в глубину веков

Третье каменное перекрытие могильной ямы. Июль 2006

Грунт оказался на редкость тяжелым — глина с галькой и щебнем, часто мокрая... Наш раскоп представляет собой яму, полностью повторяющую контуры древней могилы. Грунт поднимаем через блок ведрами, песчаные стены постоянно осыпаются, заставляя делать лишнюю работу. Позади — четыре месяца тяжелейшего «ювелирного» труда, впереди — как минимум, шесть метров вглубь. Но консервировать раскоп до следующего года ни в коем случае нельзя...

В горы Ноин-улы — живописнейшее место Северной Монголии — мы, то есть экспедиция новосибирского Института археологии и этнографии СО РАН, приехали для раскопок одного из курганов *хунну* — народа, создавшего первую в мире кочевую империю, более известного по китайским хроникам, нежели по археологическим находкам. Древние погребения на севере Монголии были случайно открыты еще в 1912 г. техником золотопромышленной компании А. Я. Баллодом. Заложив шурф



▲ Курган до начала раскопок, западина в центре — следы грабежа. Май 2006 г.

▼ Красный и черный лак — отпечатки колеса ханьской колесницы



▲ Расчищены каменная четырехугольная крепида кургана и дромос — коридор, ведущий в погребальную камеру



Первое из пяти каменных перекрытий могильной ямы



Красный лак на коже — остатки боковой стенки колесницы



Серебряное украшение конской упряжи



в одной из громадных, заросших кустарником и вековыми соснами ям, он обнаружил древние орудия, золотые изделия, сосуды, остатки шелковых материй и многое другое. Так были открыты ставшие впоследствии всемирно известными Ноин-улинские курганы. К сожалению, исторические события, вскоре захлестнувшие Россию, отодвинули их изучение на десятилетия.

Несколько забытых курганов были раскопаны уже в 1924–1925 гг. экспедицией известного путешественника и ученого П. К. Козлова, которая и установила, что в курганах, затерянных в укромных лесных падах, похоронены представители высшей знати хунну. Результаты раскопок были сенсационны: произведения неизвестного ранее анималистического искусства, текстиль из Средиземноморья и Средней Азии, китайские шелка, войлочные ковры с аппликациями в «зверином стиле»... Предметы, прекрасно сохранившиеся благодаря суровому климату и глинистым почвам, «рассказывали» не только о кочевниках хунну, но и о современном им мире древних цивилизаций Запада и Востока. В по-



На дне раскопа для безопасности и в связи с началом «снежного» сезона сооружен сруб из бруса, в котором и ведутся все работы. Стены задранированы, чтобы предотвратить осыпание грунта. Ноябрь, глубина раскопа 18 м 38 см



Одна из наиболее потрясающих находок на дне погребальной камеры — серебряный фалар (украшение конской упряжи) с античным сюжетом — в руках у автора, д. и. н. Н. В. Полосьмак, лауреата Государственной премии РФ (2004 г.), присужденной за открытие и исследование уникальных пазырыкских комплексов Горного Алтая



следующие годы археологические исследования были продолжены монгольскими и венгерскими археологами, но с гораздо меньшим успехом.

Мы приехали в Ноин-ула через 80 лет после экспедиции Козлова. Курган, выбранный нами, как и все курганы хунну, был ограблен (вернее, осквернен) в древности, о чем свидетельствовала большая воронка в центре. Мы планировали раскопать курган в течение одного полевого сезона — выехав в Монголию в конце мая, надеялись закончить все работы в сентябре.

Раскопки проводились совместно с Монгольским институтом археологии, и основной рабочей силой на кургане были монгольские студенты. Труд их никак нельзя было назвать легким: вся работа проводилась вручную, единственным средством механизации были тачки, на которых вывозили грунт и камни. Но ручной труд особенно ценится в археологии, поскольку только так удастся определить все особенности погребального сооружения, получить максимум информации.

В кургане оказалось пять перекрытий из камней, каждое из которых требовалось тщательно зачистить,



Деталь войлочного ковра с изображением грифона



Перекрытие погребальной камеры — обгоревшие сосновые бревна с прорубом, через который в древности был унесен погребенный

▶ Золотое украшение одежды



описать и разобрать. Первые находки появились только в конце сентября: на глубине свыше 11 м были найдены детали колесницы. Мы надеялись, что вскоре увидим и саму погребальную камеру — так было в других курганах. Но нас ждал большой сюрприз: ни через метр, ни через три следов сруба не было. Вероятно, древние строители, пробив больше десяти метров в тяжелом глинистом грунте и выйдя на песок, решили достигнуть максимальной глубины (18 м составляла глубина могильной ямы хуннского погребения, раскопанной с помощью бульдозера в песчаном грунте французской экспедицией).

Уже начинался октябрь, замерзшие песчаные стенки открытой ямы за день оттаивали, заливая дно ямы водой... Но консервировать раскоп до следующего года было нельзя — яма не могла выстоять до лета, пропал бы и наш четырехмесячный труд, и само погребение. Воду начали вычерпывать ведрами, потом — помпой, быстро забивавшейся песчаной взве-



На полу погребальной камеры: бляха с драконами и другие украшения, пока еще затянутые глиной



Владимир Ефимов — один из лучших в стране археологических художников, приглашенный из Петербурга. До Ноин-улы он работал на известном тувинском археологическом памятнике Аржан-2

сю. На глубине 16 м пошел мощный слой угля — значит, где-то ниже когда-то пылали костры, обжигая погребальную камеру. И вот тогда наши монгольские коллеги, обеспокоенные затянувшейся экспедицией и невероятной глубиной раскопа, поставили условие — работы будут продолжаться только после сооружения на дне ямы сруба для безопасности раскопок.

За два дня соорудили на дне раскопа сруб с крышей, провели электричество от движка. И вот мы уже стоим на сосновом перекрытии древнего погребального сооружения — на глубине, примерно равной высоте 6-этажного дома! В центре — небольшой, меньше метра, проруб, через который грабили могилу. Под тяжестью многотонного грунта сруб практически «сложился», но все, что было в камере (за исключением покрытого лаком гроба с погребенным, похищенного в древности), осталось на своих местах.

Наступили настоящие холода. Вода, заливавшая пол погребальной камеры, за ночь превращалась в лед. Мы занимались самым интересным: из мокрого месива, покрывавшего войлочный ковер на полу погребальной камеры, извлекали, фотографировали

и описывали многочисленные предметы, сопровождавшие знатного умершего в иной мир. Драгоценная лаковая посуда и вышитые шелковые ткани, богатое убранство конской упряжи, нефритовые изделия, золотые украшения одежды, фрагменты шерстяных вышитых тканей, семена... Нам удалось впервые взять из хуннской погребальной камеры образцы дерева на дендрохронологический анализ.

Курган в полной мере оправдал и наши ожидания, и колоссальный труд, в него вложенный. Разумеется, все могло кончиться и по-другому. К счастью, результаты нашей экспедиции полностью подтвердили слова известного русского путешественника Н. М. Пржевальского, с которыми он более ста лет тому назад обращался к своим коллегам: «Необходимо рисковать, и в этом самом риске кроется значительный, пожалуй, даже наибольший, шанс успеха».

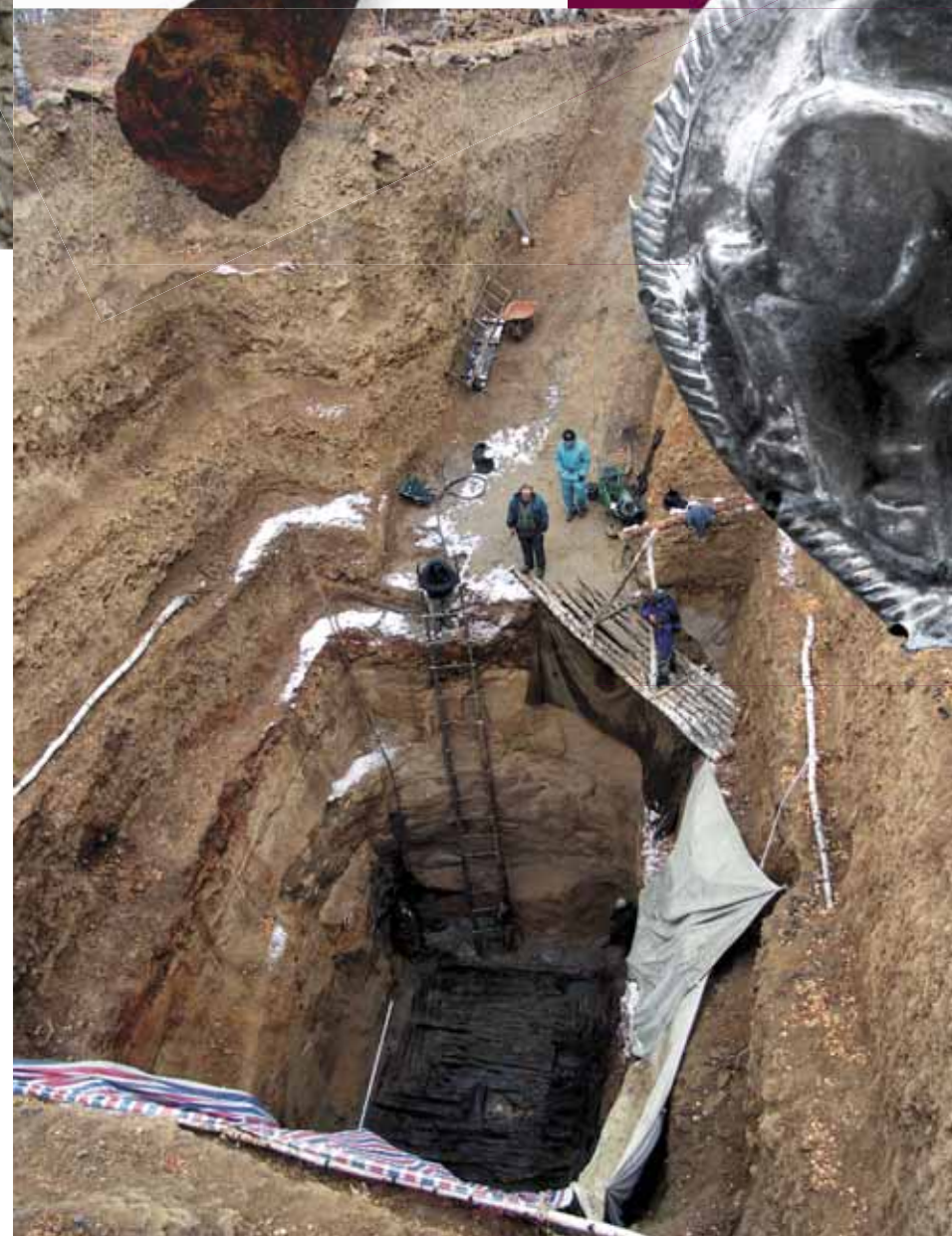
*Д. и. н. Н. В. Полосьмак, к. и. н. Е. С. Богданов
(Институт археологии и этнографии СО РАН,
Новосибирск)*

В публикации использованы фотографии авторов

Конский налобник



Украшение конской упряжи — серебряная бляха с изображением козла



Д. О. ЖАРКОВ

ЗАГАДКИ “РЖАВОЙ” ДНК

Хранительница наследственной информации — ДНК — уязвима для самых разных факторов внешней среды: солнечного света, радиации, даже продуктов жизнедеятельности собственной клетки... Трудно представить, каким бы стал наш мир, если бы в каждой клетке специальные белки не «патрулировали» наследственный материал, защищая его от появления мутаций

ЖАРКОВ Дмитрий Олегович — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ферментов репарации Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Научные интересы: молекулярная биология, биофизика. Помимо науки увлекается игрой «Что? Где? Когда?», чемпион России 2003 г.



Сейчас уже не узнать, когда это случилось в истории английской правящей династии — то ли в конце 1737 г., когда Августа Саксен-Готская, жена принца Уэльского, готовилась произвести на свет наследника, то ли гораздо раньше. Не узнать точно и причин этого события: может быть, из глубин космоса прилетела частица с высокой энергией, поразив ДНК венценосной особы, или молекула фермента в половой клетке, замешкавшись на ничтожную долю секунды, допустила ошибку в работе...

Известны только последствия этого микроскопического события, аукнувшиеся по всему земному шару. Ребенок, которому было суждено стать английским королем Георгом III, родился нормальным, хотя и недоношенным, но с возрастом появились серьезные проблемы. Властитель Англии страдал от резких болей в животе, учащенного сердцебиения и неврозов, иногда впадая в безумие на месяцы. Во время одного из таких припадков он и подписал акт о введении налога на импорт чая в американские ко-

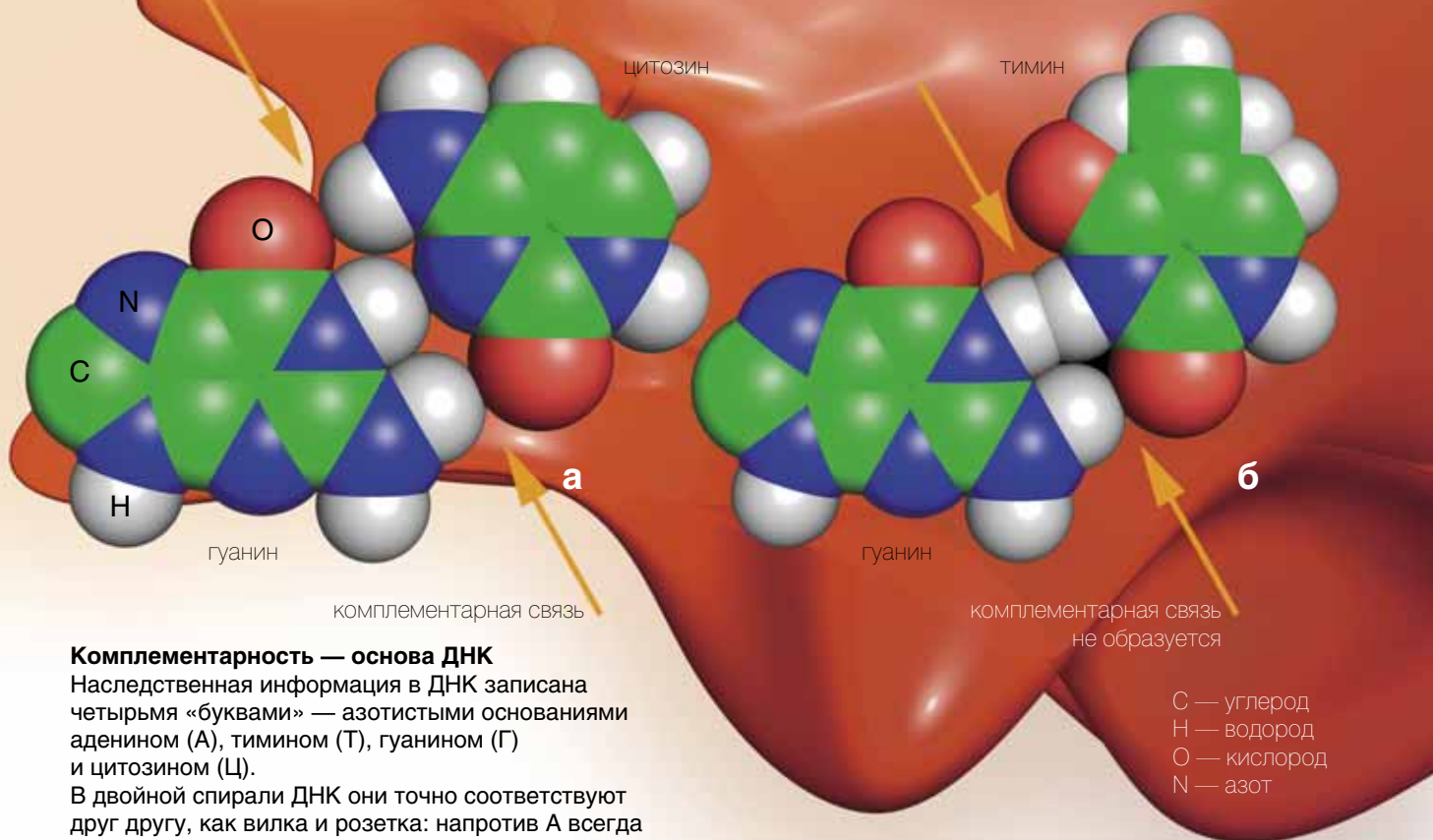
Мутации правят миром?

Английский король Георг III, вероятно, стал жертвой мутации, возникшей из-за окислительных повреждений ДНК. В припадке безумия он подписал законодательный акт, ставший толчком к отделению от Великобритании ее американских колоний. Если бы не это решение больного Георга, современная карта мира могла бы выглядеть совсем по-другому...

Портрет Георга III работы А. Рамзая, 1762 г.

Карта У. Фэйдена, 1793 г., Библиотека Конгресса США





Комплементарность — основа ДНК

Наследственная информация в ДНК записана четырьмя «буквами» — азотистыми основаниями аденином (А), тиминном (Т), гуанином (Г) и цитозином (Ц).

В двойной спирали ДНК они точно соответствуют друг другу, как вилка и розетка: напротив А всегда стоит Т, а напротив Г — Ц (а).

Эти так называемые комплементарные связи образуются благодаря атомам водорода, соединяющим между собой атомы азота и кислорода. Попытки «воткнуть» вилку в не соответствующую ей розетку (например, напротив Г поставить Т) успехом не увенчаются (б)

лони, ставший последней каплей, спровоцировавшей знаменитое Бостонское чаепитие, а затем и Американскую революцию. Современные врачи довольно уверенно ставят Георгу III диагноз — *мозаичная порфирия*, наследственная болезнь, вызванная дефектом в гене одного из ферментов синтеза гемоглобина. Фермент работает хуже, гемоглобин синтезируется медленно, а накапливающиеся промежуточные продукты отравляют организм.

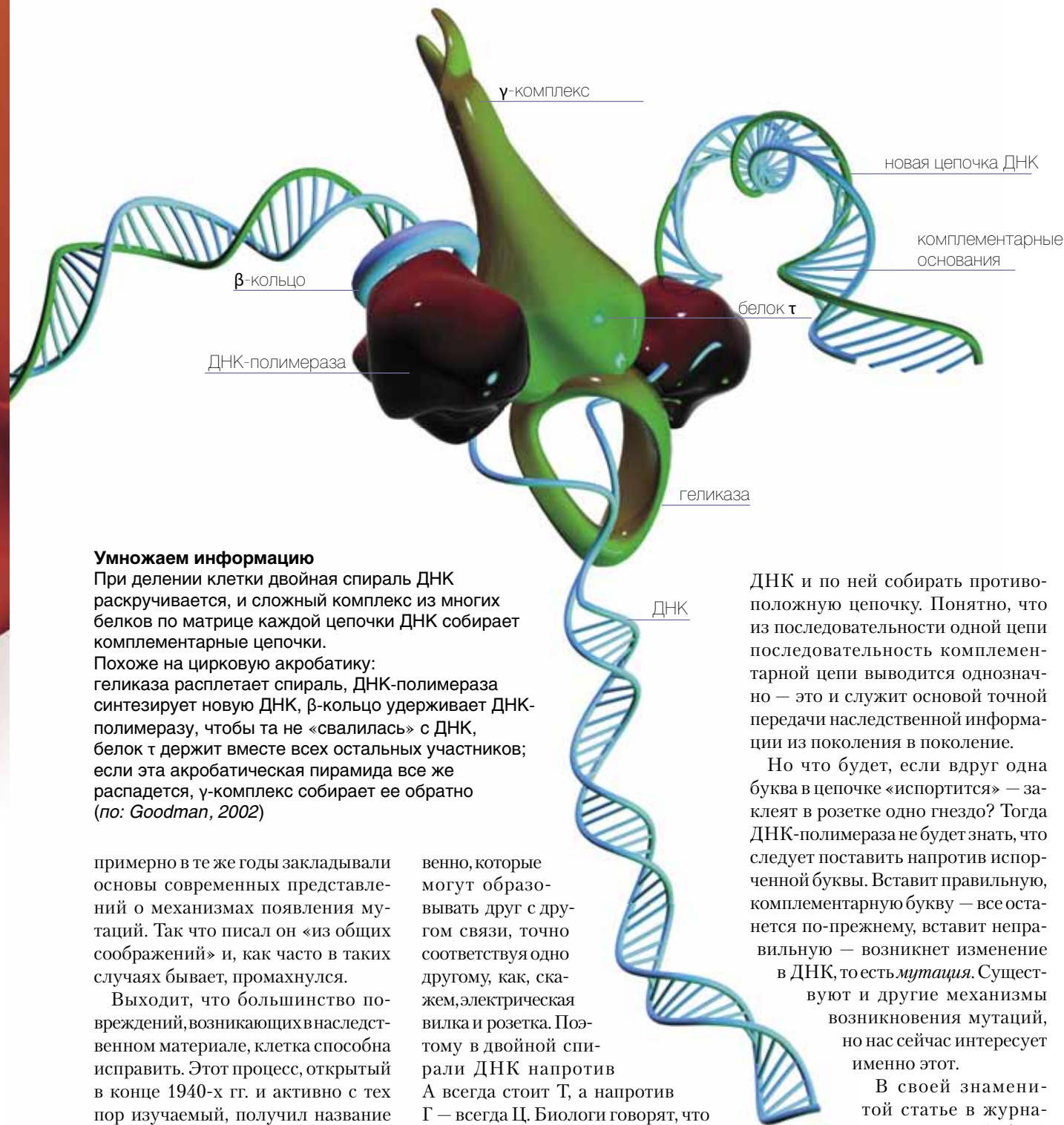
Вот так всего одна мутация определила в итоге современную карту мира и расстановку сил в нем. Другой широко известный пример — *гемофилия* (неспособность крови сворачиваться) у русского царевича Алексея, во многом поспособствовавшая падению дома Романовых. Страшно подумать, что было бы, если бы мутации происходили сплошь и рядом! Даже не касаясь политических осложнений, можно уверенно утверждать, что жизнь на Земле была бы совершенно другой. Но мутации, к счастью, — вещь достаточно редкая.

Комплементарны, как вилка с розеткой

Знаменитый физик Э. Шредингер в своей работе «Что такое жизнь? С точки зрения физика» отстаивал идею, что наследственное вещество настолько химически стабильно, что изменений в нем просто не возникает.

Теперь-то мы знаем, что это далеко не так. Если наследственный материал одной человеческой клетки представить в виде Транссибирской магистрали — от Москвы до Владивостока, то за один день в нем появляется столько повреждений, как если бы на каждые сто метров рельсов нашей железной дороги происходила одна поломка.

Шредингера, впрочем, можно понять: его книга была написана в 1944 г., почти за десятилетие до открытия структуры ДНК (слово «ДНК» в ней вообще не упоминается). Да и вряд ли физик мог хорошо ориентироваться в многочисленных работах биологов, которые



Умножаем информацию

При делении клетки двойная спираль ДНК раскручивается, и сложный комплекс из многих белков по матрице каждой цепочки ДНК собирает комплементарные цепочки.

Похоже на цирковую акробатику: геликаза расплетает спираль, ДНК-полимераза синтезирует новую ДНК, β-кольцо удерживает ДНК-полимеразу, чтобы та не «свалилась» с ДНК, белок τ держит вместе всех остальных участников; если эта акробатическая пирамида все же распадется, γ-комплекс собирает ее обратно (по: Goodman, 2002)

примерно в те же годы закладывали основы современных представлений о механизмах появления мутаций. Так что писал он «из общих соображений» и, как часто в таких случаях бывает, промахнулся.

Выходит, что большинство повреждений, возникающих в наследственном материале, клетка способна исправить. Этот процесс, открытый в конце 1940-х гг. и активно с тех пор изучаемый, получил название *репарации ДНК*.

Чтобы понять этот механизм, надо для начала вспомнить несложные факты из школьной программы. Информация в ДНК записана всего четырьмя «буквами»: А, Г, Т и Ц. Роль букв играют так называемые *азотистые основания* — аденин, гуанин, тимин и цитозин соответ-

венно, которые могут образовывать друг с другом связи, точно соответствуя одно другому, как скажем, электрическая вилка и розетка. Поэтому в двойной спирали ДНК напротив А всегда стоит Т, а напротив Г — всегда Ц. Биологи говорят, что эти основания *комплементарны* друг другу. Попытка поставить, например, А напротив Ц сродни попытке воткнуть российскую вилку в американскую розетку с плоскими отверстиями.

Еще в клетке присутствуют особые белки, *ДНК-полимеразы*, которые могут «читать» одну цепочку

ДНК и по ней собирать противоположную цепочку. Понятно, что из последовательности одной цепи последовательность комплементарной цепи выводится однозначно — это и служит основой точной передачи наследственной информации из поколения в поколение.

Но что будет, если вдруг одна буква в цепочке «испортится» — заклеят в розетке одно гнездо? Тогда ДНК-полимераза не будет знать, что следует поставить напротив испорченной буквы. Вставит правильную, комплементарную букву — все останется по-прежнему, вставит неправильную — возникнет изменение в ДНК, то есть *мутация*. Существуют и другие механизмы возникновения мутаций, но нас сейчас интересует именно этот.

В своей знаменитой статье в журнале «Nature» (1953 г.) первооткрыватели структуры ДНК Д. Уотсон и Ф. Крик описали роль двух комплементарных цепей ДНК в передаче информации, но просмотрели один важный момент, хотя Уотсон потом и утверждал, что просто посчитал ненужным его упоминать. Дело

Специальные белки патрулируют цепочки ДНК подобно железнодорожным обходчикам, отыскивая повреждения

в том, что если одно основание ДНК испортится, то всегда существует возможность его удалить и вставить вместо него правильное — ведь в противоположной цепочке еще осталась неповрежденная буква, по которой можно по принципу комплементарности восстановить «оригинал».

В большинстве случаев репарация именно так и происходит. Специальные белки все время патрулируют ДНК, подобно железнодорожным обходчикам, которые следят за исправностью рельсов. При обнаружении неправильного основания оно удаляется, а потом брешь застраивается по матрице неповрежденной цепочки.

Почему «ржавеет» ДНК

И все же, как именно портятся «буквы» ДНК? Как и с любой сложной вещью, есть много возможных способов это сделать. Многие слышали о вреде ультрафиолета: действительно, если осветить ДНК УФ-лучами, в ней образуются сшивки между соседними «буквами», что мешает работе ДНК-полимераз. Но тот же солнечный ультрафиолет в организм человека дальше поверхностного слоя кожи не проникает.

Существуют еще радиационные поражения ДНК. Но все же главные виновники поломки нашей ДНК, как ни странно, связаны с другими — жизненно важными для нас процессами. И одно из первых мест занимают так называемые *окислительные повреждения ДНК*.

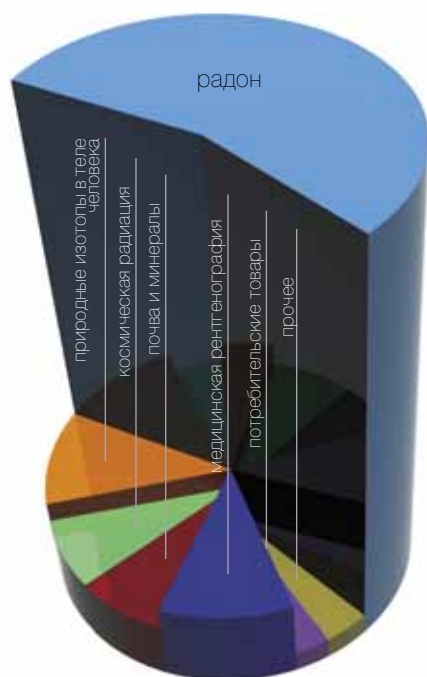
На ранней Земле с ее практически бескислородной атмосферой главным врагом ДНК был ультрафиолет: защитного озонового слоя

еще не существовало, да и одноклеточные, в отличие от нас с вами, этим излучением просвечиваются насквозь. В те времена никто не «дышал» — обмен веществ был основан не на восстановлении молекулярного кислорода, а на других химических процессах, типа брожения. Но постепенно, благодаря фотосинтезирующим организмам, концентрация кислорода в атмосфере росла, пока около 2 млрд лет назад не достигла «точки Пастера» (около 1%). Это в 20 раз меньше, чем сегодня, но уже достаточно для гораздо более эффективного кислородного метаболизма. Однако кислород — достаточно сильный окислитель, и чтобы направить реакции с ним в нужное русло, приходится идти на ухищрения.

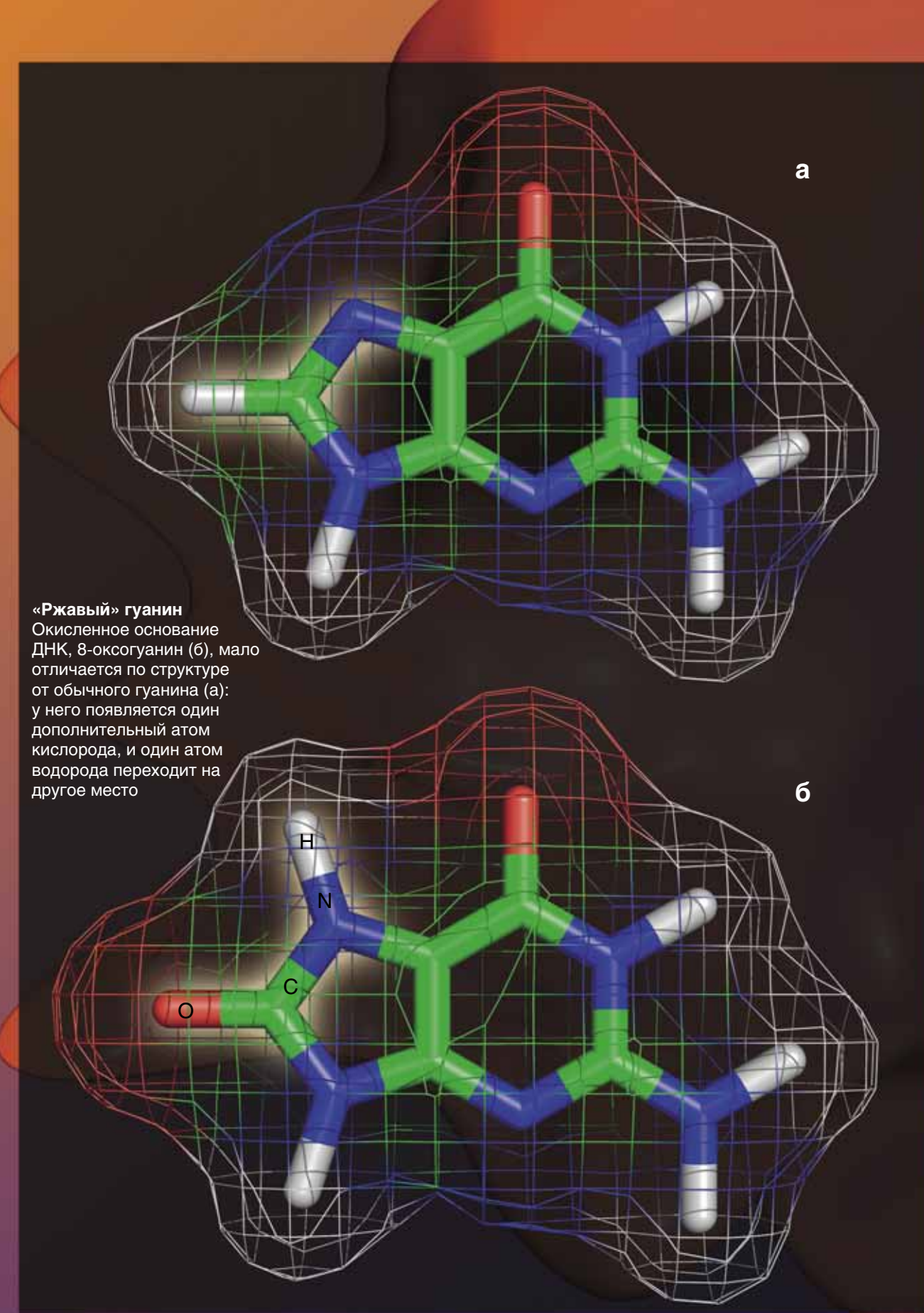
У большинства современных организмов процессы дыхания в клетке сосредоточены в специальных энергетических органеллах — *митохондриях*. Их возникновение — тема для отдельной статьи, но для нас важно то, что каждая митохондрия

Ионизирующая радиация — один из факторов повреждения нашей ДНК. Главный ее источник — газ радон, выделяющийся из недр планеты практически повсеместно. Другие природные радиоактивные изотопы, накапливающиеся в организме (в основном изотоп калия ⁴⁰K), вносят в облучение гораздо меньший вклад. Опасность космических лучей невелика, если вы не летаете часто самолетом, а вот для пилотов это существенный источник радиации, превышающий вклад радона более чем вдвое.

Все это — неизбежный природный фон, а вот с рукотворными источниками ионизирующих излучений мы чаще всего сталкиваемся в рентгенкабинете. Микроколичества радиоактивных изотопов содержатся в некоторых промышленных товарах, например во многих противопожарных датчиках. Антропогенным источником радона служат строительные материалы: в железобетонных домах его концентрация выше, чем в кирпичных (особенно если они построены не из красного обожженного кирпича), а наименее радиоактивный материал — дерево.



Вклад разных источников ионизирующей радиации



«Ржавый» гуанин
Окисленное основание ДНК, 8-оксогуанин (б), мало отличается по структуре от обычного гуанина (а): у него появляется один дополнительный атом кислорода, и один атом водорода переходит на другое место

представляет собой своеобразный реактор, в котором идет превращение молекул кислорода в воду через промежуточные формы. Последние называют *активными формами кислорода* за то, что их реакционная способность гораздо выше, чем у молекулярного кислорода и, тем более, воды. Такие молекулы могут легко реагировать с ДНК, окисляя ее, — наследственный материал «ржавеет» в прямом смысле этого слова. Окисляться могут также белки, липиды и другие компоненты клетки, но их легко разрушить и синтезировать заново, а вот уникальные информационные молекулы нужно ремонтировать как можно быстрее!

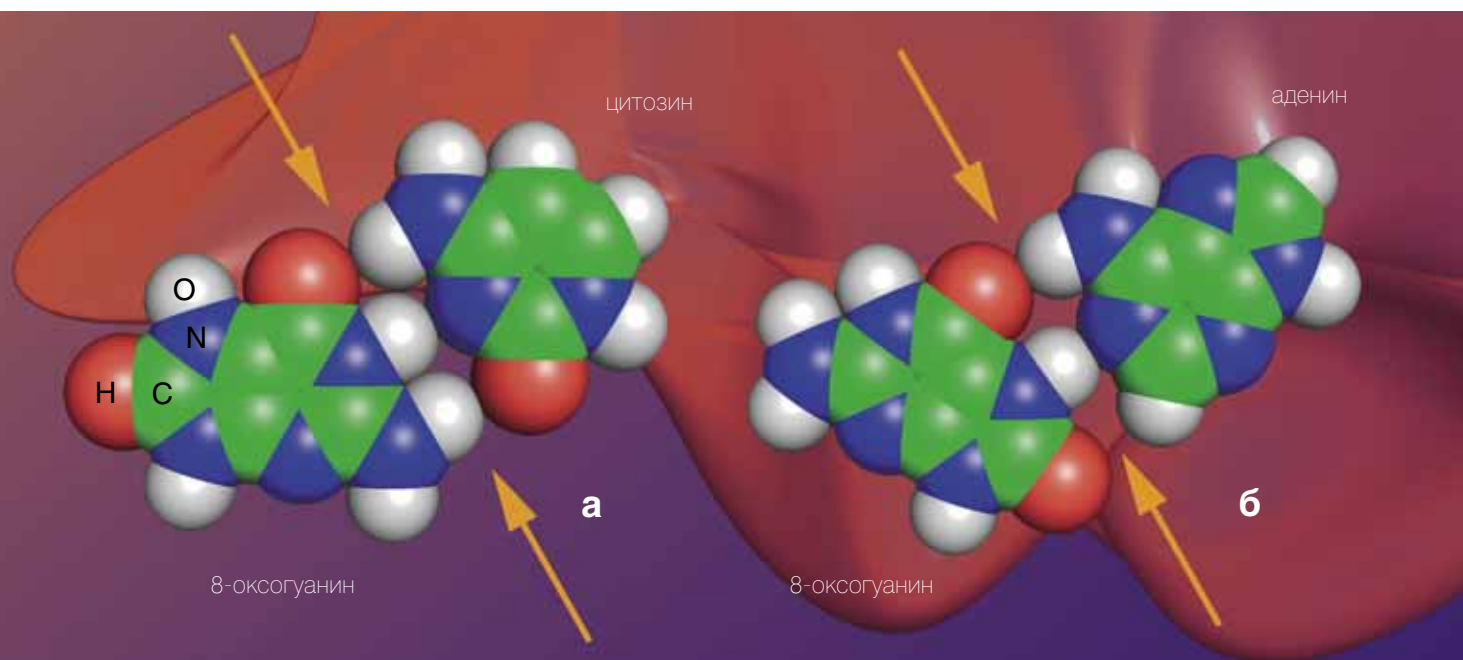
Всего ученые насчитывают несколько десятков окислительных повреждений ДНК, но не все из них одинаково значимы. Какие-то встречаются чаще, какие-то реже, какие-то приводят к мутации, какие-то нет... У нас же далее речь пойдет о самом, пожалуй, «злокозненном».

Неправильные буквы

В начале 1980-х гг. японское правительство выделило большие деньги для исследования влияния различных способов обработки пищи на здоровье. Возможно, здесь сказались японская традиция употреблять многие продукты в сыром виде (вспомните знаменитые суши!) и вытекающая из этого подозрительность к жареному

«Порочные» связи

Окисленный гуанин в цепочке ДНК может образовывать как обычную связь с цитозином (а), так и «нестандартную» связь с аденином (б), что может приводить к ошибкам при сборе комплементарной цепи ДНК



и печеному; может быть, японцы просто привыкли тщательно следить за своим самочувствием.

Так или иначе, химики С. Нисимура и Х. Касаи занялись экспериментами, выглядевшими на первый взгляд как классическое любопытство ученого, замечательно изображенное писателем Ю. Томиным: «А что будет, если в медный кофейник вылить стакан кефира, добавить полстакана керосина, опустить сто граммов мороженого, положить старый будильник, выжать половинку лимона, бросить дохлую муху, тщательно размешать, накрыть вчерашней газетой и облучить рентгеновскими лучами?».

Японцы брали концентрированный раствор глюкозы, прогревали его под давлением при температуре 120°C и в полученный коричневый сироп добавляли одно из оснований ДНК — гуанин. После многочасового выдерживания этой смеси в тепле ее разделяли методами аналитической химии и смотрели, во что же

Молекулы ДНК легко реагируют с активными формами кислорода: наследственный материал «ржавеет» в прямом смысле этого слова, как оставленный на воздухе кусок железа

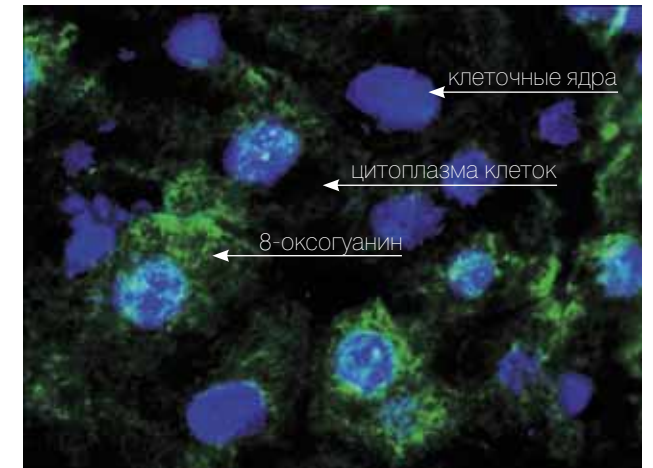
превратился гуанин. Как знает любой, кто когда-нибудь лакомился самодельным жженым сахаром, глюкоза при нагревании карамелизуется. В этом сложном процессе (при карамелизации идут химические реакции восьми разных типов, если не больше!) возникают сотни промежуточных веществ, часть из которых очень активна и может реагировать с азотистыми основаниями ДНК. Ученые обнаружили в своем сиропе два производных гуанина, одному из которых суждено было стать печально известным.

Итак, знакомьтесь — *8-оксогуанин*. От гуанина он отличается только двумя атомами, которые даже не участвуют в образовании комплементарных связей в нормальной ДНК. Однако изменения в расположении атомов позволяют окисленному гуанину легко образовывать не только нормальную пару с Ц, но и пару с А. Из-за этого ДНК-полимераза может делать ошибки при копировании цепочки, содержащей 8-оксогуанин, — вставлять напротив него А, в результате при следующем копировании напротив А, естественно, встанет уже Т.

Таким образом, на месте, где изначально была буква Г, появится Т — произойдет мутация, называемая *трансверсией*. Подобные мутации в ДНК возникают чаще всего как раз по описанному механизму. В некоторых генах человека, мутация в которых приводит к развитию раковых опухолей, такие трансверсии находят очень часто, почему окисление гуанина в ДНК считается сейчас важным онкогенетическим фактором. И в мутантных генах, предопределяющих возникновение тех же порфирии или гемофилии, хватает случаев этой трансверсии.

Однако поначалу сообщение японских ученых не вызвало большого интереса. Мало ли что может образоваться в модельных условиях, да еще таких экзотических, как кипящий сироп. Однако буквально через пару лет в США М. Диздароглу и Р. Флойд разработали надежные методы определения даже очень малых количеств 8-оксогуанина в ДНК, после чего сообщения об этом окисленном основании посыпались градом.

Оказалось, что 8-оксогуанин образуется при воздействии на ДНК очень многих факторов — радиации, солнечного света, разных химических окислителей, табачного дыма, автомобильных выхлопных газов, асбеста... От этого не спасет даже свинцовая камера с тщательно профильтрованным воздухом — как мы видели, в самих клетках митохондрии при дыхании в изобилии производят активные формы кислорода. Теоретически все они должны восстанавливаться до воды, но в мире нет идеально работающих систем, и какая-то часть этих очень реакционно-способных молекул из митохондрий попадает в клеточное ядро, где может повреждать ДНК. И митохондрии — далеко не единственный источник опасных окислителей в организме: например, в иммун-



Самый распространенный дефект ДНК

На срезе печени крысы благодаря специальным методам отчетливо виден 8-оксогуанин (зеленого цвета) не только в ядрах, но и в цитоплазме клеток. Фотография Е. Кемелевой (ИХБФМ СО РАН)

ной системе человека есть специальные клетки-макрофаги, производящие активные формы кислорода, чтобы с их помощью убивать патогенные микробы.

Поэтому даже в отсутствие внешних повреждающих факторов ДНК каждой клетки содержит несколько тысяч оснований 8-оксогуанина. А уж при наличии таких факторов... Когда подсчитали количество поврежденных оснований в ДНК рыб, обитающих в загрязненной индустриальными стоками гавани американского города Сиэтла, то оказалось, что оно возросло как минимум в тысячи раз по сравнению с нормой. Сейчас 8-оксогуанин считается самым распространенным из окислительных повреждений ДНК, и, поскольку обнаружить его сравнительно легко, часто используется в качестве маркера окислительного стресса.

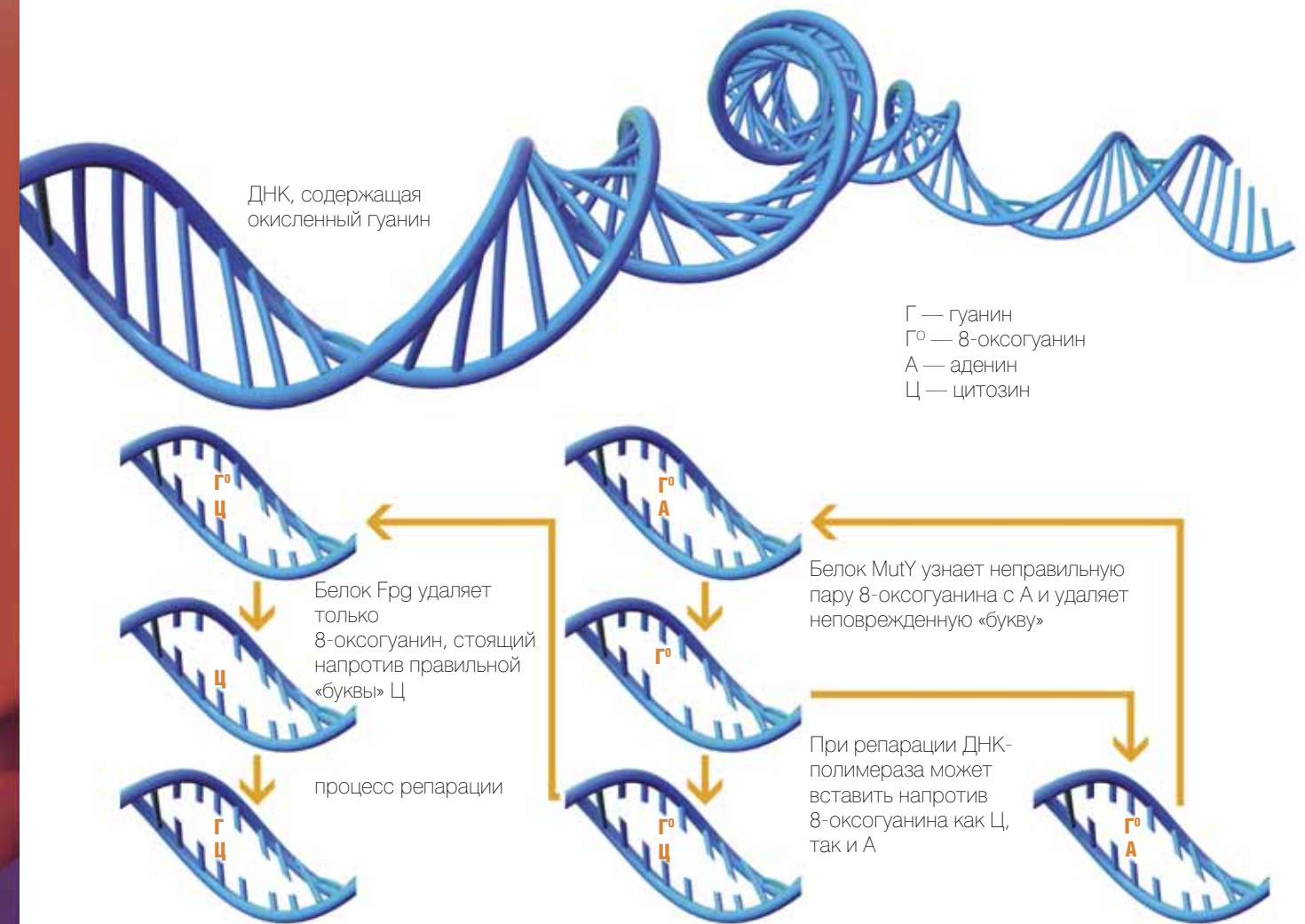
Путевые обходчики

С самого начала было понятно, что такое важное поврежденное основание должно подвергаться репарации. Оставалось только найти фермент — «путевого обходчика», который ищет 8-оксогуанин в ДНК и удаляет его. Подобные белки, *ДНК-гликозилазы*, были к тому времени известны, но ни один из них не подходил для репарации 8-оксогуанина.

В 1991 г. в американской лаборатории А. Гроллмана из кишечной палочки — рабочей лошадки современной биологии — наконец-то был выделен фермент, способный узнавать и выщеплять из ДНК 8-оксогуанин. Вскоре было показано, что этот фермент идентичен другому белку, открытому незадолго до того, — *формамидопи-*



Путевой обходчик ДНК
Пространственная структура белка Fpg — фермента, удаляющего из ДНК окисленный гуанин — была определена в 2002 г. совместными усилиями ученых из Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН и их коллег из США и Израиля. Решить эту трудоемкую задачу было необходимо для понимания механизма работы фермента



Универсальная схема ремонта поврежденной ДНК

Специальные белки Fpg и MutY распознают в цепочке ДНК молекулы окисленного азотистого основания — 8-оксогуанина — и удаляют их, работая в сотрудничестве. Поврежденное место затем восстанавливается на основе принципа комплементарности

римидин-ДНК-гликозилазе (которая узнавала еще одно окисленное производное гуанина), поэтому за белком закрепилось сокращенное название Fpg.

С тех пор этот фермент интенсивно изучали во многих странах, а в 2002 г. была определена и его пространственная структура в результате совместных усилий ученых из новосибирского Института биоорганической химии (ныне Института химической биологии и фундаментальной медицины) СО РАН, группы Гроллмана и Иерусалимского университета. Решить

эту трудоемкую задачу, требующую большого экспериментаторского мастерства, было необходимо для понимания механизма работы фермента — лишь после этого можно задумываться и о его практическом применении.

Сейчас в зарубежных лабораториях пытаются применить белок Fpg в целях предохранения нормальных клеток от повреждений при противоопухолевой химио- и радиотерапии. Новосибирцы исследуют роль этого фермента в жизни бактерии-возбудителя туберкулеза: известно, что подавление некоторых других

Даже в обычных условиях ДНК клетки содержит несколько тысяч молекул 8-оксогуанина — одного из самых распространенных окислительных повреждений наследственной информации

гликозилаз резко снижает способность туберкулезной палочки выживать в организме инфицированного. В принципе на этой основе могут быть созданы новые лекарства против этой опасной болезни.

Но вернемся к событиям внутри клетки. Бактериальный фермент Fpg отличается исключительной специфичностью — он способен удалять из ДНК 8-оксогуанин, стоящий напротив «буквы» Ц, но не способен делать это, если напротив поврежденного основания находится А. Это логично: нормальный гуанин всегда комплементарен Ц. Если же 8-оксогуанин стоит напротив А, то это означает, что ДНК-полимераза уже успела скопировать поврежденную цепь ДНК, совершив ошибку в месте повреждения. Поэтому, если удалить 8-оксогуанин из такой пары, сразу возникнет мутация.

Как же клетка выходит из такой ситуации? Оказывается, на этот случай есть еще одна ДНК-гликозилаза — MutY, которая узнает пару 8-оксогуанина с А и удаляет из нее не поврежденную, а нормальную «букву» (аденин). Парадокс? Вовсе нет: теперь ДНК-полимераза может при репарации вставить напротив 8-оксогуанина как Ц, так и А. Вставит Ц — задача сводится к уже известной, и дальше работает белок Fpg. Опять ошибется и вставит А — ничего страшного, цикл повторится еще

раз, и еще, и еще... В конце концов на нужное место встанет Ц, и тогда на помощь придет Fpg.

У белков Fpg и MutY есть еще и третий коллега — фермент MutT, удаляющий 8-оксогуанин из поврежденных «кирпичиков»-мономеров, что не позволяет ДНК-полимеразе использовать неправильные «буквы» в качестве строительного материала при формировании новой цепочки. Кстати, названия MutT и MutY происходят как раз от английского *mutation* — если соответствующие гены у бактерии «выключить», частота мутаций подскочит во много раз.

Описанная система репарации 8-оксогуанина оказалась настолько удобной, что ее можно найти практически у всех живых организмов, в том числе и у нас с вами. Конечно, ферменты могут отличаться от бактериальных по структуре и носить другие названия, но суть остается той же: удалять 8-оксогуанин напротив цитозина, а аденин — напротив 8-оксогуанина.

Кроме того, имеются ферменты, которые не трогают 8-оксогуанин, но удаляют из ДНК другие окисленные основания: у кишечной палочки это белки Nth и Nei, у человека — NTH и несколько белков NEIL. Как и Fpg, все эти компоненты системы репарации служат объектом пристального внимания ученых всего мира.

К счастью, не отстает здесь и Россия, и во многом — благодаря усилиям новосибирских ученых: большой объем исследований по этой тематике выполняется в лаборатории ферментов репарации ИХБФМ СО РАН. Только что из печати вышла научная статья, в которой описываются новые, ранее неизвестные функции вышеупомянутых белков NEIL; ведется определение структур ряда ДНК-гликозилаз; совместно с другими лабораториями Института исследуется динамика структур ферментов, роль репарации ДНК в организме... На всех международных научных форумах, где собираются ученые, занимающиеся репарацией, новосибирцы — желанные докладчики.

Как здоровье?

А что происходит, если наши белковые «путевые обходчики» не выполняют свою работу должным образом? Выше уже упоминались и мутации, и то, что с повышенным уровнем 8-оксогуанина может быть связано зарождение многих раковых опухолей.

Вообще болезни человека, происходящие из-за дефектов системы репарации, протекают очень тяжело, но, к счастью, они довольно редки. Самая известная из них, пожалуй, — *пигментная ксеродерма*, при которой отсутствует репарация повреждений, вызванных ультрафиолетовым излучением. Для этих больных, которых в мире всего несколько тысяч, любой выход на солнечный свет губителен — кожа быстро покрывается волдырями, на ней развиваются злокачественные опухоли; большинство таких людей умирает еще в молодости. Но ксеродерма вызвана не дефектами ДНК-гликозилаз — при ней не работают другие ферменты.

До недавних пор вообще не было известно болезней, которые возникали бы из-за мутаций в генах ДНК-гликозилаз. Более того, экспериментальное «выключение» этих генов у лабораторных мышей (такие животные называются «нокаутными») также не вызывало никаких заметных неблагоприятных симптомов.

Ситуация изменилась в 2002 г., когда группа английских ученых сообщила о том, что в результате мутации в гене MutY у человека повышается риск заболевания раком толстого кишечника. Практически в то же время было показано, что дефекты в гене урацил-ДНК-гликозилазы (этот фермент репарирует повреждения ДНК, не относящиеся к окислительным) вызывают тяжелую иммунную недостаточность. Наконец, благодаря многочисленным исследованиям 8-оксогуанин-ДНК-гликозилазы человека удалось открыть варианты этого фермента, повышающие чувствительность к заболеванию раком легких у курильщиков и людей, дышащих сильно загрязненным воздухом.

Лабораторные мыши с определенным дефектом системы репарации («ремонта») ДНК страдают «метаболическим синдромом» — ожирением, гипертонией, склонностью к диабету

А в начале 2006 г. американские исследователи из Орегонского университета создали еще одну линию нокаутных мышек, выключив у них на этот раз ген ДНК-гликозилазы NEIL1. И вновь мутанты ничем не отличались от нормальных зверьков в отношении частоты возникновения раковых опухолей.

Однако совершенно неожиданно для себя ученые обнаружили, что эти мыши все же больны. Они страдают так называемым *метаболическим синдромом* — бичом современного цивилизованного мира, сопровождающимся ожирением, повышением давления, диабетом... Пока остается загадкой, каким образом отсутствие гена NEIL1 приводит к результату, совершенно нетипичному для дефектов в других системах репарации. Может быть, он работает только в определенных клетках организма — например, в районах мозга, которые регулируют аппетит?

Над решением этих и других подобных вопросов и работают новосибирские ученые в сотрудничестве — а бывает, и в остром соперничестве — с коллегами из России и из-за рубежа. «Ржавая» ДНК хранит еще много тайн.

В публикации использованы фотографии автора и трехмерные изображения молекул, выполненные в программе PyMOL (DeLano Scientific)



Загадок ржавой ДНК хватит на всех
Аспирантка Виктория Сидоренко исследует мутагенез у бактерий, подвергшихся окислительному стрессу



Г. А. НЕВИНСКИЙ

ТАИНСТВЕННЫЕ АБЗИМЫ



НЕВИНСКИЙ Георгий Александрович — доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией ферментов репарации Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН и сектором мутагенеза и репарации Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Лауреат премии Ленинского комсомола (1984), Государственной премии РФ (1999). Автор более 250 научных публикаций

Слова «иммунитет» и «антитело», как и понятие «фермент», знакомы всем. Но многие ли слышали об уникальных белках, производимых нашей иммунной системой, которые умеют катализировать самые разные реакции? Сопровождая практически неизлечимые аутоиммунные заболевания, они являются нашими врагами, но эти многофункциональные молекулы могут стать настоящей находкой для биотехнологии и медицины...

Что такое *иммунитет*? Этим модным ныне словом обозначают один из главных механизмов защиты человека от вредных факторов окружающей среды (*immunis* на латыни означает «чистый, свободный от чего-либо»). Из множества защитных систем многоклеточных организмов к иммунитету относятся лишь те, в которых участвуют особые клетки — *лимфоциты*. Уникальная черта этих клеток — способность распознавать огромное (около 10^{18} !) количество разнообразных потенциально вредных объектов (бактерий, вирусов, чужеродных молекул и т. д.), включая и такие, с которыми жизнь за миллиарды лет существования на Земле еще не сталкивалась.

Лимфоцитарный иммунитет — достаточно новое эволюционное приобретение: им обладают не более полутора процентов видов многоклеточных организмов, начиная с челюстных рыб. Представители этих видов оставляют сравнительно малочисленное потомство, поэтому выживание каждой особи существенно для сохранения вида. О важности иммунитета в нашей жизни говорит хотя бы тот факт, что каждая десятая клетка тела взрослого человека — лимфоцит!

Лимфоцитарным иммунитетом обладают лишь те виды многоклеточных организмов, у которых выживание каждой особи имеет значение для сохранения вида

Иммунитет предназначен для защиты не только от внешних «интервентов» разного типа и калибра, но и от собственных поврежденных клеток. Любая молекула, которая, попав в организм, может вызвать иммунный ответ, называется *антигеном*.

Вообще иммунитет бывает двух типов. Иммунная система первого типа обеспечивает так называемый *гуморальный ответ*. При нем в организме в ответ на попадание антигена вырабатываются специальные белковые молекулы — *антитела* (или *иммуноглобулины*, Ig), которые узнают антиген, связывают и нейтрализуют его. Иммунный ответ второго типа называется *клеточным* — его обеспечивают специальные клетки, лимфоциты-киллеры, распознающие чужеродные антигены после их связывания с особыми собственными клетками организма.

Родословная лимфоцита

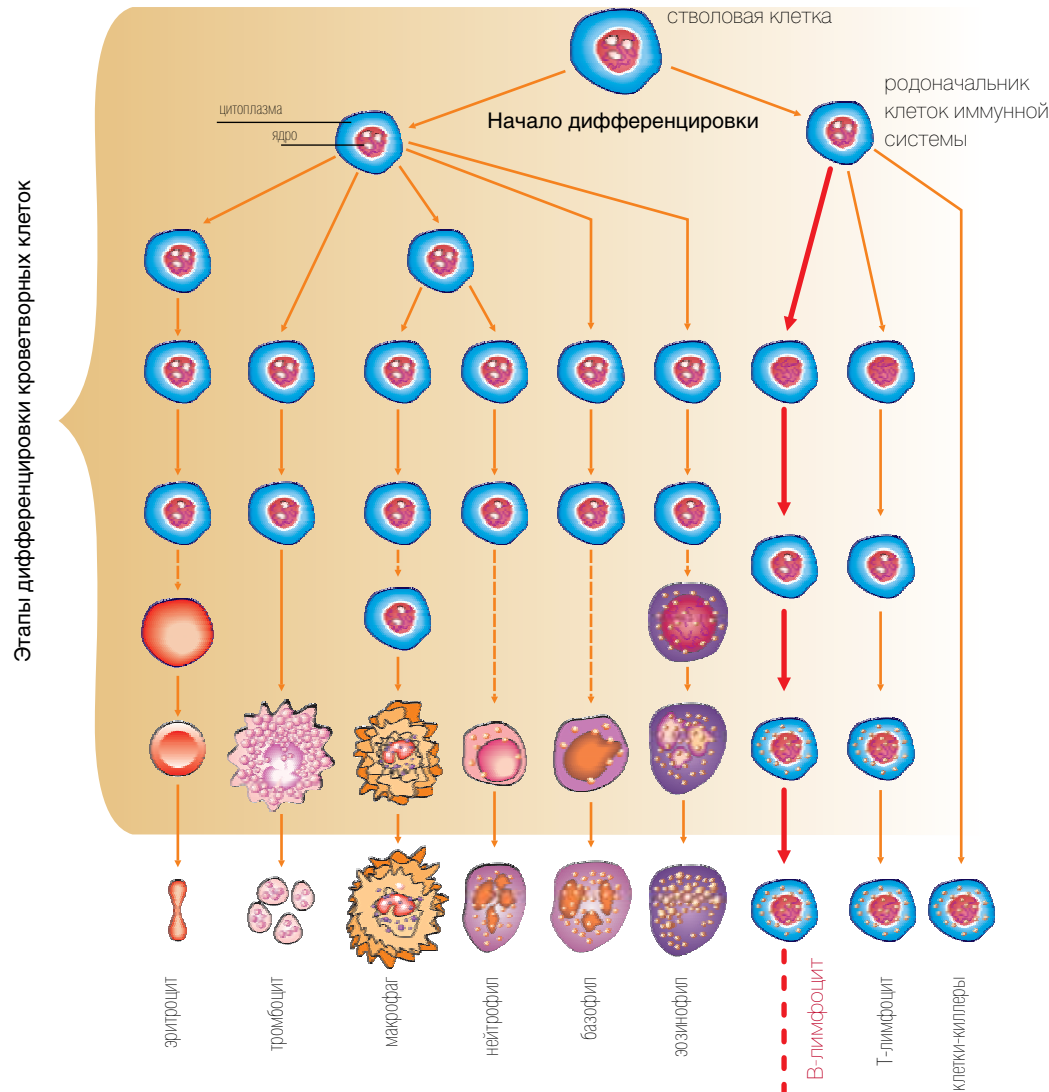
Рассмотрим иммунную систему первого типа. Антитела, образующиеся при гуморальном ответе, вырабатываются особым классом лимфоцитов — *B-лимфоцитами*. Как и другие клетки крови, они происходят из *стволовой*, т. е. недифференцированной, кроветворной клетки костного мозга в результате многоступенчатой специализации. Зрелые неиммунные лимфоциты (их называют *наивными*, потому что они еще не специализированы для выполнения определенных функций) циркулируют через кровь между различными органами и тканями организма.

В процессе дифференцировки лимфоцитов формируется все огромное разнообразие генетических кодов для *вариабельных* (различающихся у разных лимфоцитов) участков будущих антител, ответственных за распознавание и связывание антигена: в каждом лимфоците происходит своя, уникальная перегруппировка генетического материала, унаследованного от стволовой клетки.

В периферических лимфоидных органах (лимфатических узлах, селезенке, лимфоидной ткани органов пищеварительной, дыхательной и мочеполовой систем) наивные лимфоциты «знакомятся» с разными антигенами. После встречи с конкретным антигеном те лимфоциты, которые смогли его распознать, начинают активно размножаться и дополнительно перестраивать структуру генов, кодирующих вариабельную часть антител. Так получается новый клон B-лимфоцитов, синтезирующих антитела, способные высоко специфично связываться и, в конечном итоге, разрушать именно этот антиген.

На один и тот же антиген иммунная система может в принципе выработать до 10^6 вариантов дифференцированных B-лимфоцитов (и соответствующих им вариантов антител), но реально их меньше. В конечном итоге от этого множества остается лишь несколько процентов клеток, вырабатывающих наиболее продуктивно работающие антитела. А изначальное перепроизводство — необходимая плата за точность и эффективность будущего иммунного ответа.

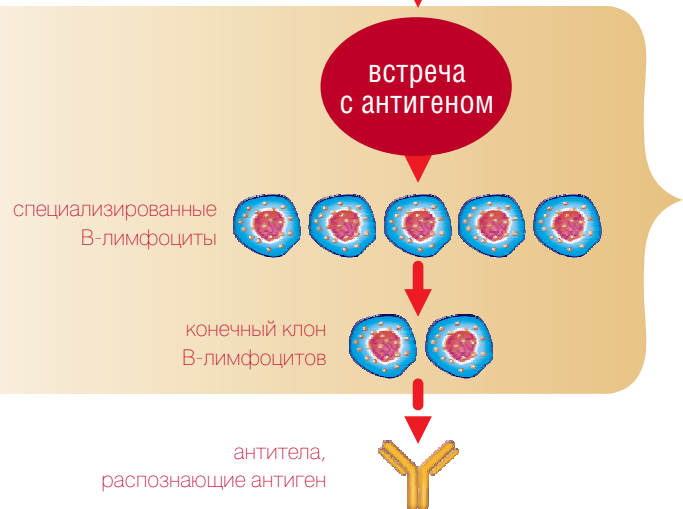
Кстати, если наивный лимфоцит случайно «познакомится» не с чужеродным антигеном, а с белком своего организма, то он обычно погибает. Именно поэтому наш иммунитет не убивает нас самих.



Этапы дифференцировки кроветворных клеток

Схема кроветворения

Все клетки крови, включая лимфоциты, происходят из стволовых, т. е. недифференцированных, клеток красного костного мозга. Зрелые, но еще не специализированные для выполнения конкретных функций В-лимфоциты «встречаются» с антигенами — чужеродными молекулами, вызывающими иммунный ответ. В конечном итоге в организме появляются клоны специализированных В-лимфоцитов, которые производят антитела, специфично распознающие конкретные антигены



Дальнейшая дифференцировка В-лимфоцитов

Сбои в иммунитете

Способность отличать «свое» от «чужого» — важнейшее свойство иммунной системы. К сожалению, в этой системе могут случаться сбои, когда в организме начинают активно размножаться «запрещенные» клоны лимфоцитов — настоящие «подрывные элементы», производящие антитела против молекул собственного организма. Несколько десятков аутоиммунных заболеваний, возникающих в результате таких сбоев, представляют собой важную медицинскую проблему современного общества — ведь ими страдает множество людей, в том числе молодого и среднего возраста.

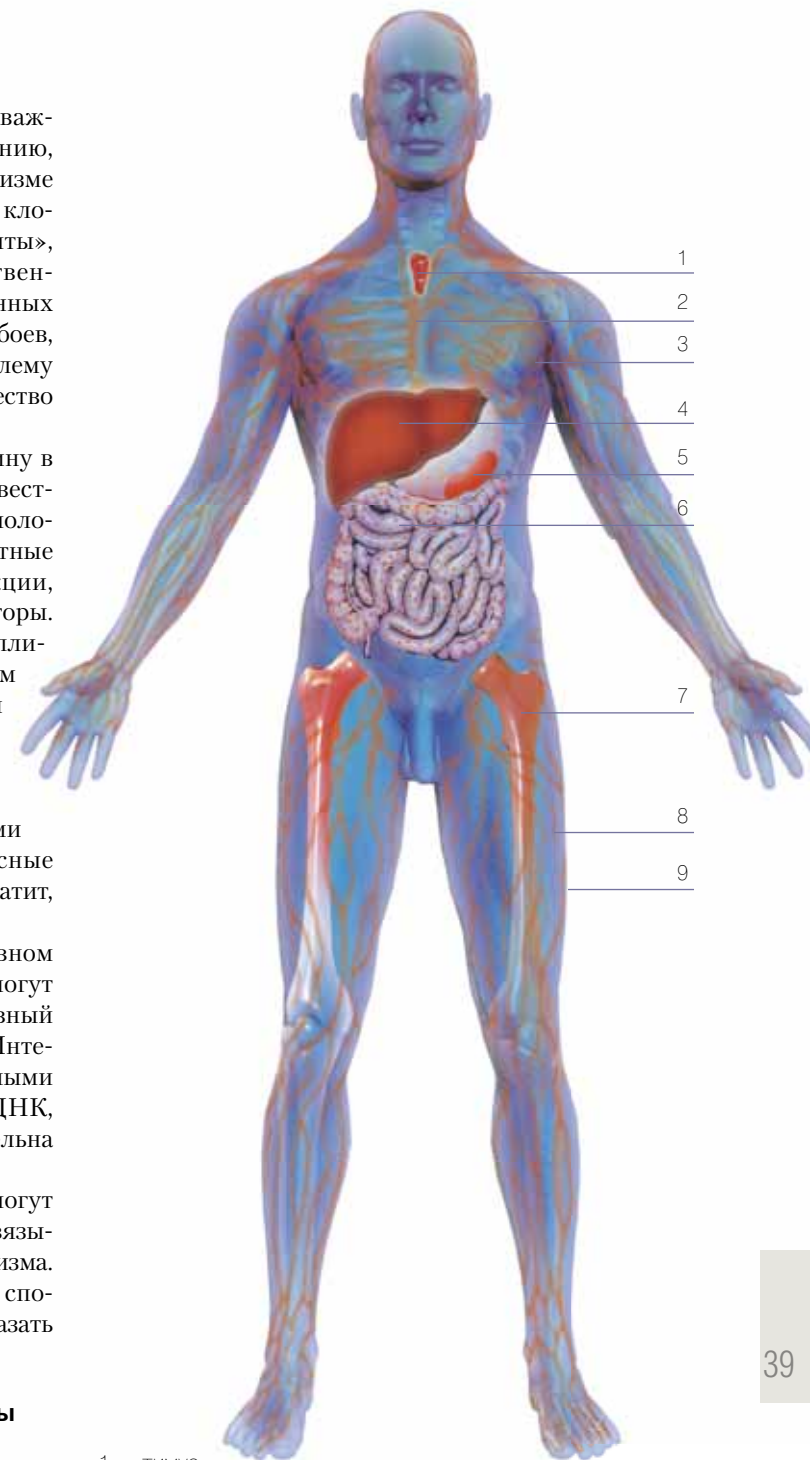
Как возникают эти болезни? Установить причину в каждом конкретном случае затруднительно, но известно, что этому способствуют генетическая предрасположенность, гормональный дисбаланс, неблагоприятные условия окружающей среды (радиация, инфекции, токсины, нездоровый климат и т. д.) и другие факторы. В результате таких воздействий в организме накапливаются *аутоантитела* — антитела к собственным антигенам. В случае всем известной бронхиальной астмы антигеном служит небольшой белок — *вазоактивный кишечинальный пептид*; при рассеянном склерозе — белки *миелина* (белково-липидной оболочки нервных волокон). Аутоиммунными реакциями сопровождаются и некоторые вирусные заболевания, как, например, СПИД и вирусный гепатит, при которых нарушается иммунитет.

Принято считать, что антигены — это в основном белки и полисахариды, однако такие свойства могут проявлять и другие молекулы, в том числе и главный носитель наследственной информации — ДНК. Интересно, что в крови больных многими аутоиммунными заболеваниями повышена концентрация и самой ДНК, и антител к ней. Особенно в этом плане примечательна системная красная волчанка.

Долгое время бытовало мнение, что антитела могут нейтрализовать антигены только путем прочного связывания с ними с последующим выведением из организма. Но оказалось, что это не единственно возможный способ. И вот здесь нужно сделать отступление и рассказать о других белках — *ферментах*.

Локализация иммунной (лимфоидной) системы в организме человека

Кроветворный костный мозг занимает центральное положение в иммунной системе. У взрослого человека он находится в плоских костях, позвоночнике, тазовых костях, околоуставных костных участках, составляя около 8% массы тела. Поступающие из мозга лимфоциты начинают через кровь циркулировать между различными органами и тканями. В периферических лимфоидных органах происходит их дальнейшая специализация



- 1 — тимус
- 2 — грудной лимфатический проток
- 3 — лимфатические узлы
- 4 — печень
- 5 — селезенка
- 6 — лимфоидные ткани слизистых оболочек
- 7 — кроветворный костный мозг
- 8 — сосуды лимфодренажа покровных тканей
- 9 — внутриэпителиальные лимфоциты

Новая наука — абзимология

Из школьного курса все знают, что ферменты — это белки, катализирующие самые разные химические реакции. Молекула фермента связывается с молекулой вещества (*субстрата*) и превращает его в другое вещество (*продукт*); протекает эта реакция в специальном участке фермента — *активном центре*.

На заре биохимии считали, что структура активного центра фермента точно соответствует структуре

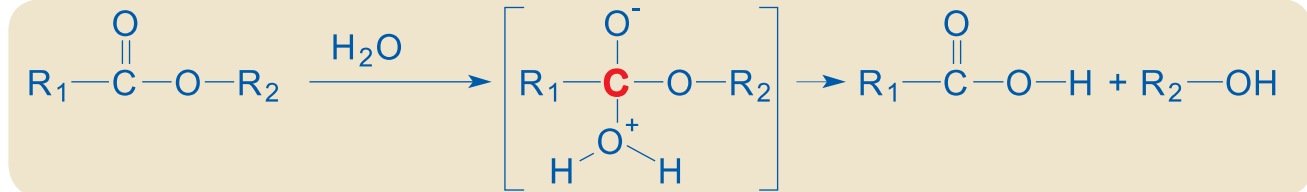
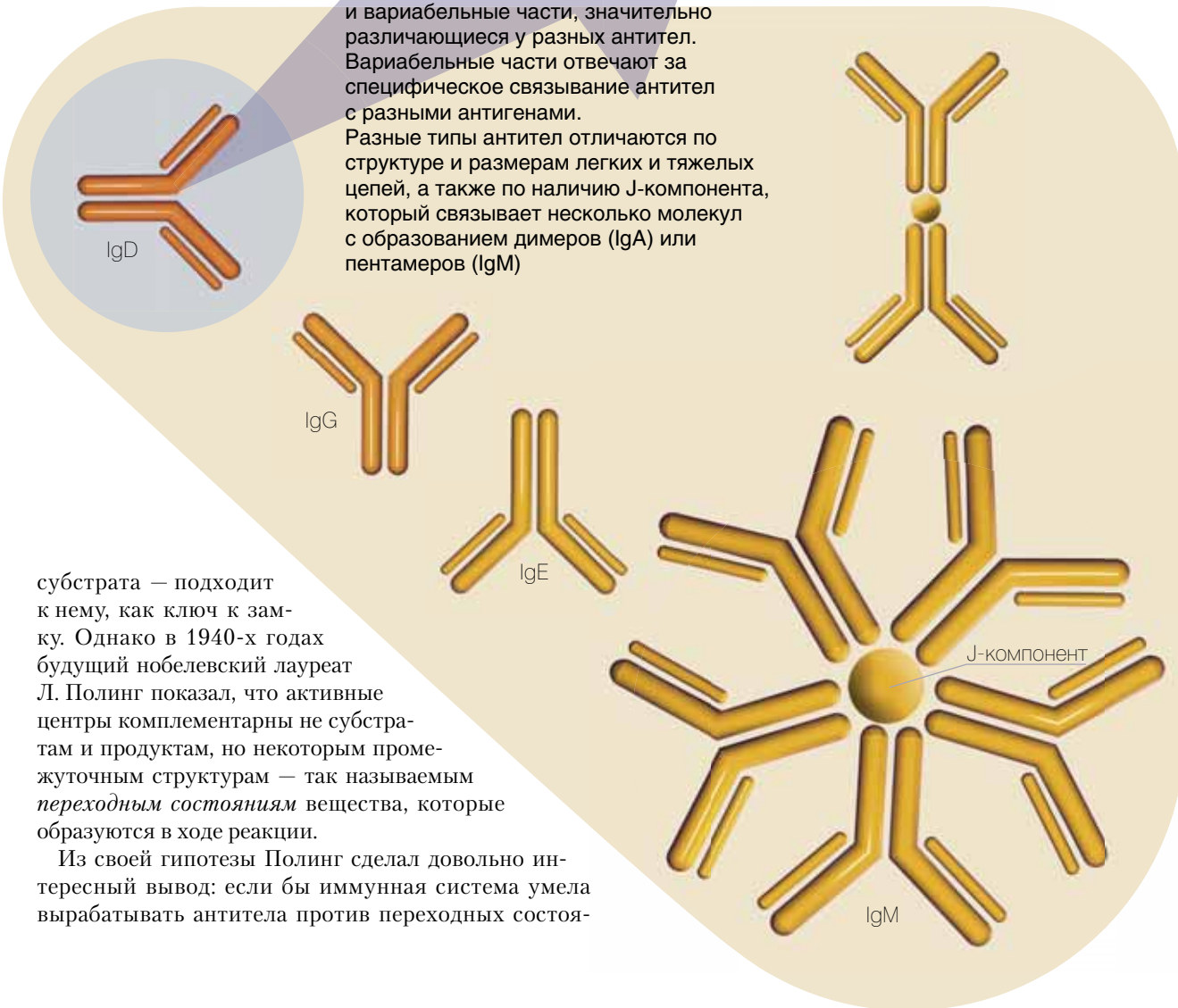
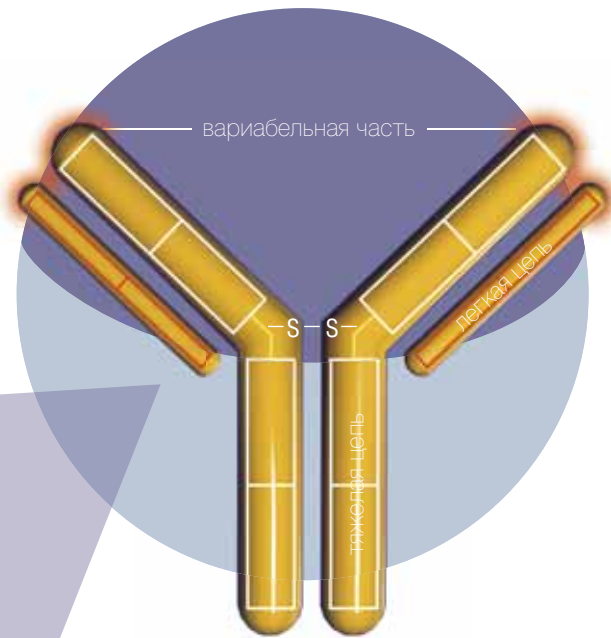
Структура и типы антител

Лимфоциты синтезируют пять типов антител. Антитела (иммуноглобулины) представляют собой белки с двумя «легкими» и двумя «тяжелыми цепями», соединенными дисульфидными (S—S) связями.

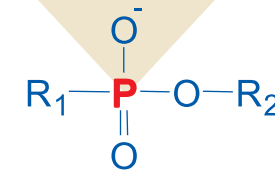
Цепи содержат как константные, так и переменные части, значительно различающиеся у разных антител. Переменные части отвечают за специфическое связывание антител с разными антигенами. Разные типы антител отличаются по структуре и размерам легких и тяжелых цепей, а также по наличию J-компонента, который связывает несколько молекул с образованием димеров (IgA) или пентамеров (IgM).

субстрата — подходит к нему, как ключ к замку. Однако в 1940-х годах будущий нобелевский лауреат Л. Полинг показал, что активные центры комплементарны не субстратам и продуктам, но некоторым промежуточным структурам — так называемым *переходным состояниям* вещества, которые образуются в ходе реакции.

Из своей гипотезы Полинг сделал довольно интересный вывод: если бы иммунная система умела вырабатывать антитела против переходных состоя-



короткоживущее переходное состояние реакции



стабильный аналог переходного состояния, где атом углерода заменен на атом фосфора

Реакция гидролиза сложного эфира карбоновой кислоты

ний, то такие антитела обладали бы свойствами ферментов. Как мы видели, иммунная система производит невообразимое количество самых разных антител, и среди них всегда найдется такое, которое будет соответствовать даже самому экзотическому антигену.

Однако схему Полинга в чистом виде невозможно реализовать технически — переходные состояния существуют очень короткое время. Поэтому позже В. Дженкс предложил использовать стабильные молекулы с похожей структурой, чтобы получить антитела на них.

Эта идея получила первое экспериментальное подтверждение в 1986 г. Такие антитела, обладающие каталитической активностью, назвали *абзимами* (от английских слов *antibody enzyme* — антителофермент). Известные на сегодня абзимы катализируют более ста различных реакций, причем даже такие, для которых природных ферментов не существует.

Можно считать, что возникла целая новая отрасль биохимии — *абзимология*. В числе ее последних достижений — создание новых лекарственных средств, например, абзимов, расщепляющих наркотики в крови. Открываются перспективы получения новых белковых катализаторов с самыми разнообразными свойствами для научных исследований, и, что немаловажно, для биотехнологии и медицины.

Антителами — по переходным состояниям!

Нобелевский лауреат Л. Полинг доказал, что активные центры ферментов комплементарны (соответствуют) не субстратам и не конечным продуктам химических реакций, которые они катализируют, а промежуточным соединениям, образующимся в ходе реакции, — так называемым *переходным состояниям*. Он предположил, что антитела, выработанные против таких соединений иммунной системой, будут тоже работать как ферменты. Поскольку переходные состояния живут очень короткое время, первые подобные каталитически активные антитела (*абзимы*) были получены с использованием искусственно созданных стабильных аналогов переходных состояний

Но этими замечательными достижениями история абзимологии не исчерпывается: успешные эксперименты по дизайну разнообразных искусственных абзимов стимулировали новый виток изучения антител в организме, в результате чего были открыты природные абзимы.

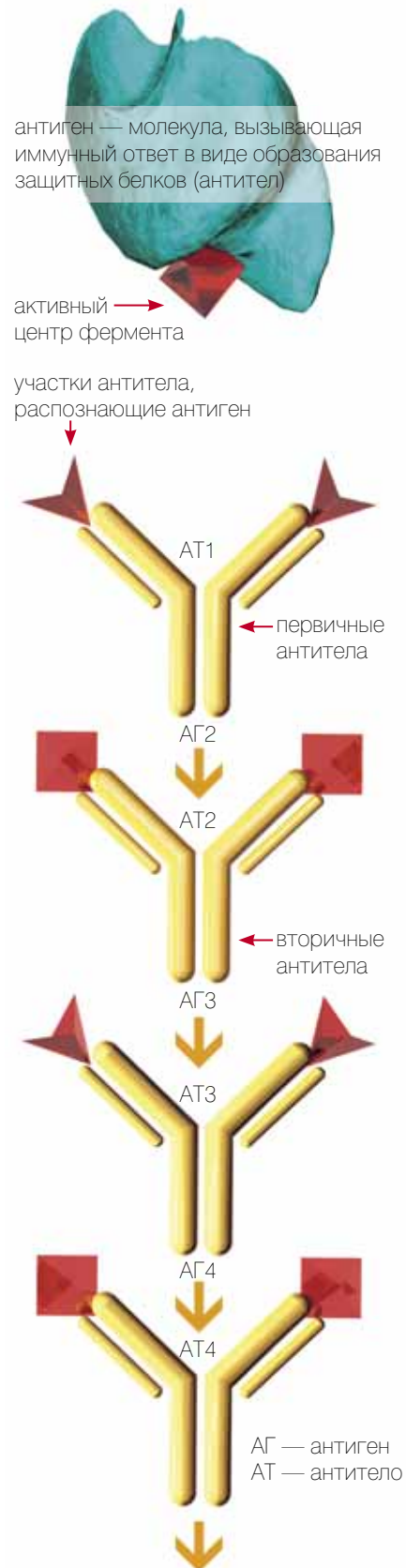
Природные абзимы

Первые природные абзимы, обнаруженные американской группой С. Паула в крови больных бронхиальной астмой, не только эффективно связывали вазоактивный интестинальный пептид, но и катализировали его гидролиз (разложение водой). Вскоре после этого московские ученые под руководством А. Г. Габиева выделили из крови больных системной красной волчанкой антитела, гидролизующие ДНК.

Затем в лаборатории ферментов репарации НИБХ СО РАН автором этой статьи был открыт целый ряд природных антител, которые могут расщеплять ДНК, РНК, АТФ, белки и полисахариды. Такие абзимы есть в крови больных системной красной волчанкой, аутоиммунным

тиреоидитом, полиартритом, рассеянным склерозом, вирусным гепатитом и СПИДом, но отсутствуют в крови здоровых доноров, а также больных другими, не аутоиммунными заболеваниями.

Как появляются абзимы у аутоиммунных больных? При этих заболеваниях, как известно, активно идет гибель клеток, из-за чего в крови повышаются концентрации всех клеточных компонентов (белков, ДНК и т. д.), а также самых разных их комплексов. Поэтому абзимы могут нарабатываться двумя путями. Во-первых, они могут возникать как антитела непосредственно против продуктов клеточного распада — собственных антигенов, структура которых, когда они находятся в комплексе с другими компонен-



тами крови, имитирует структуру переходного состояния реакции.

Второй путь сложнее. Согласно теории нобелевского лауреата Н. Эрне, против какого-либо антигена в организме сначала образуются первичные (*идиотипические*) антитела, которые, будучи сами белками, тоже могут играть роль антигенов, против которых могут образоваться вторичные (*антиидиотипические*) антитела и т. д. Как и исходный фермент, все антитела более высокого порядка могут проявлять каталитическую активность. По данным новосибирских ученых, в крови больных аутоиммунными заболеваниями обычно находится «коктейль» из абзимов с разными свойствами, образовавшихся разными путями.

Истории болезней

Появление абзимов часто является самым ранним признаком развития аутоиммунных процессов, поэтому тестирование их активности является исключительно перспективным подходом как для ранней диагностики, так и для пред-

Схема образования антител в организме согласно антиидиотипической сети Эрне

Когда в организм попадает какой-либо антиген, иммунная система сначала вырабатывает против него первичные (*идиотипические*) антитела — иммунные белки, которые связывают и нейтрализуют антиген. Первичные антитела, в свою очередь, также могут становиться антигенами — против них иммунная система начинает вырабатывать вторичные (*антиидиотипические*) антитела и т. д. Теоретически подобная цепь антиген-антитело может быть довольно длинной, но экспериментально установлено присутствие в крови животных только антител четвертого порядка (АТ4).

Если первичным антигеном был фермент, то антитела к нему будут своеобразным «слепком» с его активного центра. Вторичные и последующие антитела будут представлять собой «слепок со слепка» и, таким образом, также содержать некий «внутренний образ» активного центра фермента. Поэтому все они, как и исходный фермент, могут проявлять каталитическую активность.

В здоровом организме благодаря такому механизму поддерживается необходимый баланс антител; у больных аутоиммунными заболеваниями его действие нарушается, и в крови возрастает содержание первичных и, главное, вторичных антител, обладающих каталитической активностью

сказания обострения хронически текущей болезни и оценки эффективности лечения теми или иными препаратами.

Рассеянный склероз, например, обычно удается распознать только на поздних стадиях, когда в мозге больных возникают характерные бляшки, обнаруживаемые с помощью томографии. Наиболее обоснованная теория возникновения этой болезни отводит главную роль аутоиммунным воспалительным процессам, ведущим к нарушению передачи нервных импульсов. У больных рассеянным склерозом нами обнаружены антитела, которые разрушают основной белок миелина. С помощью анализа на активность этих абзимов можно обнаружить заболевание на ранней стадии.

Общего рецепта для лечения аутоиммунных заболеваний пока нет: сейчас можно поддерживать жизнь такого больного, но вылечить его еще никому не удавалось — скорее всего, потому, что причина этих болезней до сих пор точно неизвестна. Многие данные говорят за то, что развитие аутоиммунных заболеваний связано с нарушениями в скорости

роста и дифференцировки стволовых клеток костного мозга.

В нашей лаборатории ведутся исследования на лабораторных мышцах особой линии, у которых спонтанно развивается болезнь, аналогичная системной красной волчанке человека. Еще до появления каких-либо внешних симптомов у этих животных заметно меняется характер деления и специализации стволовых клеток. На этой стадии болезни абзимы в крови уже можно «увидеть». Остальные параметры, по которым обычно ставится диагноз, меняются гораздо позже, при переходе предболезни в патологию.

Еще одно наше исследование, которое можно назвать успешным, связано с аутоиммунным тиреоидитом — наиболее часто встречающимся заболеванием щитовидной железы. Известно, что антитела таких больных гидролизуют белок *тиреоглобулин*, из которого образуется гормон *тироксин*. Кроме того, у 65% больных аутоиммунным тиреоидитом были обнаружены антитела с ДНК-гидролизующей активностью, уровень которой коррелировал с диагностическими показателями, стандартными для этой патологии.

Таких пациентов обычно лечат тироксином, однако это дает лишь временное улучшение, не влияя на глубину протекания самих аутоиммунных процессов. Мы предложили группе из тридцати пациентов экспериментальное лечение *плаквенилом*. Этот препарат долгие годы использовали в борьбе с малярией, а потом случайно обнаружили, что он эффективно подавляет многие аутоиммунные реакции. При лечении плаквенилом уровень ДНК-гидролизующих абзимов в крови пациентов стал резко снижаться, одновременно и другие показатели также стали приходить в норму: в крови

уменьшилась концентрация тиреоглобулина и антител к этому белку, а концентрации тиреоидных гормонов восстановились практически до нормы (при том, что гормональная терапия не проводилась). В результате у больных нормализовалась функция щитовидной железы, улучшилось общее состояние.

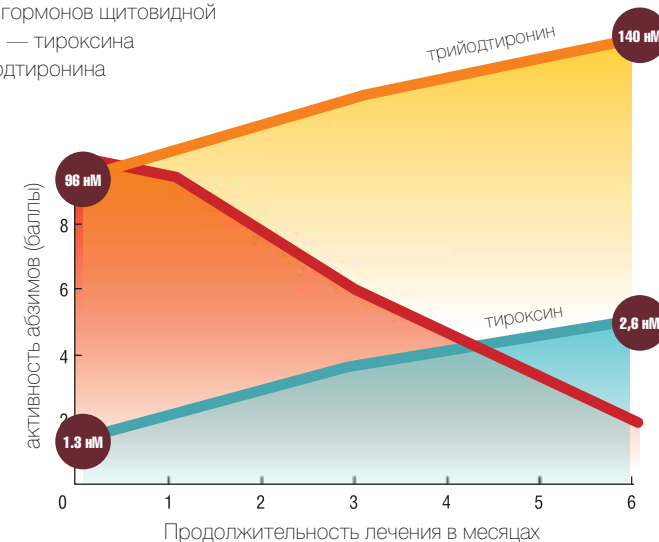
Абзимы — враги и друзья

Абзимы, вероятно, играют отрицательную роль и при других аутоиммунных болезнях, помимо рассеянного склероза и тиреоидита. Например, иммунизация мышцей абзимами, гидролизующими вазоактивный интестинальный пептид, провоцирует у них астму, так как разрушение этого белкового гормона приводит к затруднению дыхания.

Абзимы из крови больных системной красной волчанкой, гидролизующие ДНК, оказались *цитотоксичными*, т.е. тормозящими рост клеток. Такой же способностью обладают некоторые белки-цитокины — природные регуляторы роста многих клеток (один из таких белков, *фактор некроза опухоли*, очень важен для предохранения организма от рака). При этом цитотоксичность абзимов иногда была даже выше, чем у самих цитокинов. В отличие от обычных антител, такие абзимы каким-то образом могут проникать в ядро клетки через все мембраны, связываться с ДНК, расщеплять ее и таким образом приводить клетку к гибели. Есть основания считать, что появление абзимов на ранних стадиях аутоиммунных заболеваний может стимулировать дальнейшее развитие болезни.

Но абзимы оказались не только врагами: в 1990-х годах новосибирские ученые совершенно неожиданно

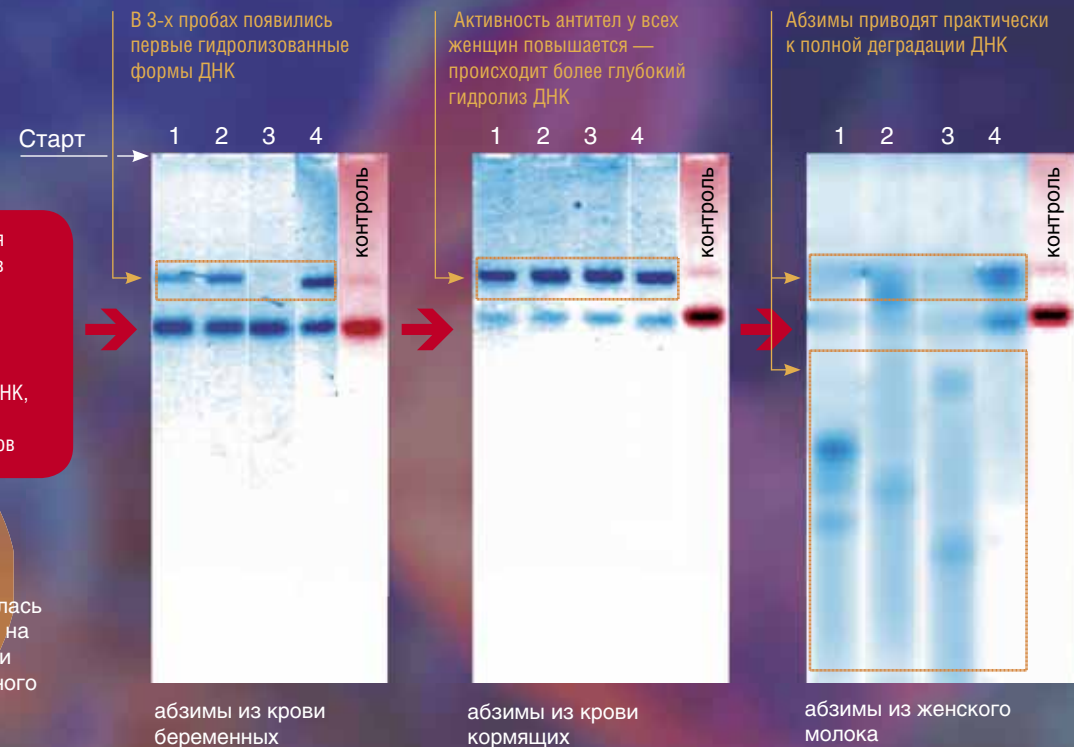
В результате лечения возросли уровни гормонов щитовидной железы — тироксина и трийодтиронина



Аутоиммунный тиреоидит: уровень гормонов щитовидной железы можно восстановить!

Динамика концентрации гормонов щитовидной железы в крови у одного из больных, в течение полугода принимавшего лекарство плаквенил, снижающее ДНК-гидролизующую активность абзимов.

В результате подавления аутоиммунных процессов уровень гормонов щитовидной железы восстановился почти до нормы без гормонального вмешательства



По мере увеличения активности абзимов концентрация негидролизованной ДНК уменьшается по сравнению с КОНТРОЛЕМ — ДНК, инкубированной в отсутствие абзимов

Активность абзимов анализировалась у 4-х женщин на разной стадии репродуктивного цикла



Абзимы при беременности и лактации

Активность ДНК-гидролизующих антител (абзимов) определялась по появлению гидролизованных форм ДНК при инкубации ДНК с антителами (с последующим электрофорезом).

Чем выше активность абзимов, тем больше должна быть концентрация гидролизованных форм ДНК. Судя по этому критерию, активность абзимов в крови кормящих женщин повышается по сравнению с последним триместром беременности, но особенно — в десятки раз — повышается активность антител из их молока

в избытке обнаружили абзимы в крови совершенно здоровых людей, а именно — беременных женщин. Более того, оказалось, после родов эти абзимы попадают в материнское молоко!

Почему это происходит? Дело в том, что особенностью реорганизации иммунной системы беременной женщины является включение у нее своеобразной иммунной «памяти», в которой во время беременности аккумулируется информация о всех вредных факторах окружающей среды. В случае вскармливания это приводит к тому, что в результате иммунизации будущей матери различными антигенами за 1–3 месяца (но не более) до появления потомства ее молоко будет содержать антитела к этим антигенам в очень больших количествах. При этом не важны ни путь попадания антигена в организм матери (через кровь или с пищей), ни его природа (будь это компоненты пищи, белки бактерий или вирусов).

Иммунные процессы с началом лактации запускаются в соответствии с информацией, накопленной в иммунной «памяти», чтобы грудное молоко содержало все

антитела, необходимые для защиты новорожденного. Это обеспечивает последнему *пассивный иммунитет*, поскольку его собственная иммунная система начинает активно развиваться лишь в возрасте 4–6 месяцев.

Молоко рожениц оказалось на редкость богатым источником абзимов, гидролизующих ДНК и РНК, полисахариды, молочный белок казеин и другие вещества. Каталитическая активность этих антител оказалась еще выше, чем у антител из крови больных аутоиммунными заболеваниями. В грудном молоке присутствуют и уникальные абзимы, катализирующие не разрушение субстратов, а их модификацию: они могут фосфорилировать липиды, белки и полисахариды — прикреплять к определенным их частям остаток фосфата.

Абзимы молока, очевидно, играют положительную роль, заключающуюся в усилении защитного действия пассивного иммунитета за счет гидролиза и модификации чужеродных молекул вирусов, бактерий, компонентов пищи и т. д. И здесь мы можем отметить следующий интересный факт: все указывает на то, что беременность стимулирует у женщин процессы, очень

Женское молоко — богатый источник абзимов, включая уникальные, которые могут усиливать защитное действие пассивного иммунитета новорожденных

похожие на те, что наблюдаются у больных аутоиммунными заболеваниями.

Однако в женском организме они заканчиваются с окончанием лактации, а у больных носят хронический характер. Ответ на вопрос, каким образом у женщин происходит выключение в нужный момент потенциально опасных аутоиммунных реакций, может дать ключ к лечению до сих пор неизлечимых аутоиммунных болезней.

Перекуем мечи на орала

Абзимология — наука молодая, и проблем перед ней стоит много. Пожалуй, самая фундаментальная из них следующая: образуют ли абзимы вскармливающих резервную систему ферментов, работающую в экстремальных ситуациях с активностью, которой нет у обычных ферментов, или это все-таки побочный продукт работы иммунной системы?

В любом случае скрытый потенциал организма в производстве разнообразных абзимов, бесспорно, велик.

Материнское молоко содержит все антитела, необходимые для защиты новорожденного, в том числе и абзимы

И когда в 2005 г. в издательстве «Wiley-VCH» вышла первая в мире монография, посвященная каталитическим антителам, то вступлением к ней стали известные слова пророка Исайи: «Перекуем мечи на орала», очень уместные в данном случае.

Кто знает, может быть, дальнейшее изучение этих необычных multifunctional белков действительно приведет к новым удивительным открытиям в медицине и фармакологии, и наши вчерашние «враги» превратятся в особо эффективные лекарства нового поколения? Кто знает — ведь история абзимологии только начинается...

Рибосома — МИНИФАБРИКА по производству белков

Г. Г. КАРПОВА, Д. М. ГРАЙФЕР, А. А. МАЛЫГИН

Одним из наиболее сложных процессов, осуществляемых живыми существами, является, пожалуй, синтез белков — важнейших структурных и функциональных «кирпичиков» любого организма. Подлинное понимание молекулярных процессов, лежащих в его основе, могло бы пролить свет на неимоверно давние события, связанные с тайной зарождения самой Жизни

Во всех живых организмах, от простейших бактерий до человека, белки синтезируются специальными клеточными устройствами *рибосомами*. На этих уникальных фабриках происходит образование белковой цепи из отдельных аминокислот.

В клетках, ведущих интенсивный белковый синтез, рибосом очень много: так, в одной бактериальной клетке содержится около 10 тыс. этих минифабрик, составляющих до 30% общей сухой массы клетки! В клетках высших организмов рибосом содержится меньше — их число зависит от типа ткани и уровня метаболизма клетки.

Рибосома синтезирует белок со средней скоростью 10–20 аминокислот в секунду. Точность трансляции исключительно высока — ошибочное включение «неправильного» аминокислотного остатка в цепь белка составляет в среднем одну аминокислоту на 3 тыс. звеньев (при средней длине белковой цепи у человека в 500 аминокислотных остатков), т. е. всего одна ошибка на шесть белков.

О генетическом коде

Программа, задающая последовательность аминокислотных остатков в белке, записана в геноме

Одна клетка может содержать до 10 тыс. рибосом — белковых минифабрик, составляющих до 30% сухой клеточной массы



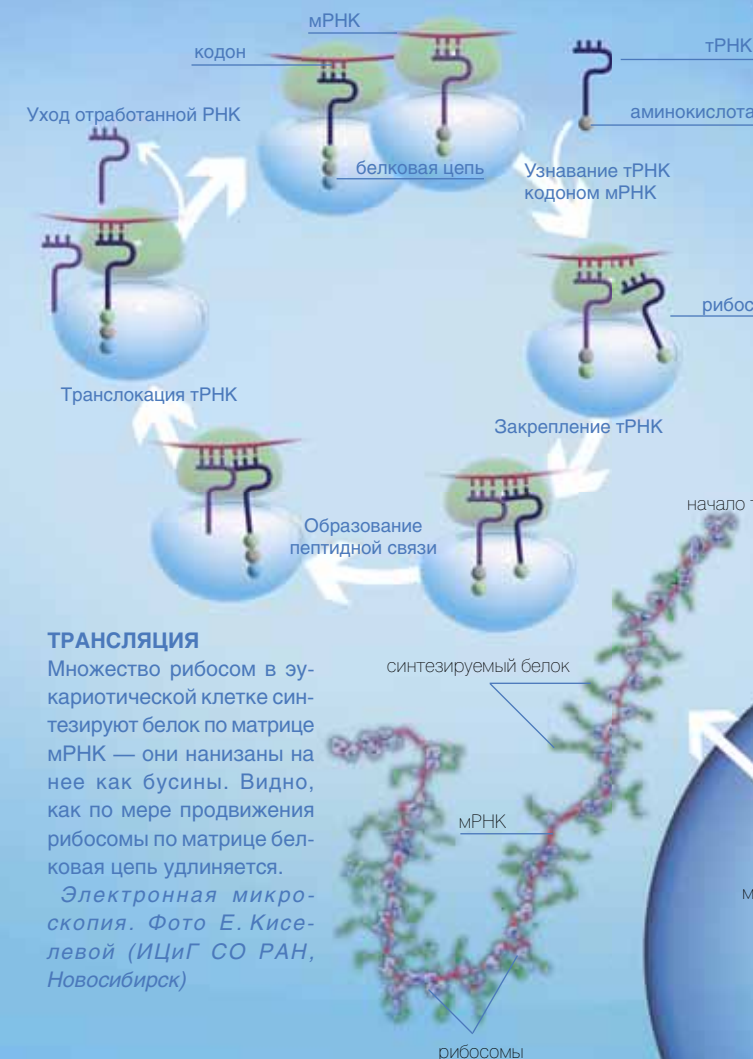
КАРПОВА Галина Георгиевна — доктор химических наук, профессор, заведующая лабораторией структуры и функции рибосом Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (ИХБФМ) (Новосибирск).
Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники (1999).
Автор более 200 публикаций



ГРАЙФЕР Дмитрий Маратович — кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории структуры и функции рибосом ИХБФМ СО РАН (Новосибирск). Лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники (1999).
Автор более 70 публикаций



МАЛЫГИН Алексей Аркадьевич — кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории структуры и функции рибосом ИХБФМ СО РАН (Новосибирск).
Автор более 30 публикаций



РАБОЧИЙ ЦИКЛ РИБОСОМЫ

В одном цикле цепь синтезируемого белка удлиняется на одно звено (один аминокислотный остаток). Синтез белка на рибосоме начинается со стартового кодона мРНК (соответствующего аминокислоте метионину) и заканчивается, когда в участке декодирования появится «стоп-кодон», не соответствующий ни одной аминокислоте. После этого вновь синтезированный белок высвобождается из рибосомы

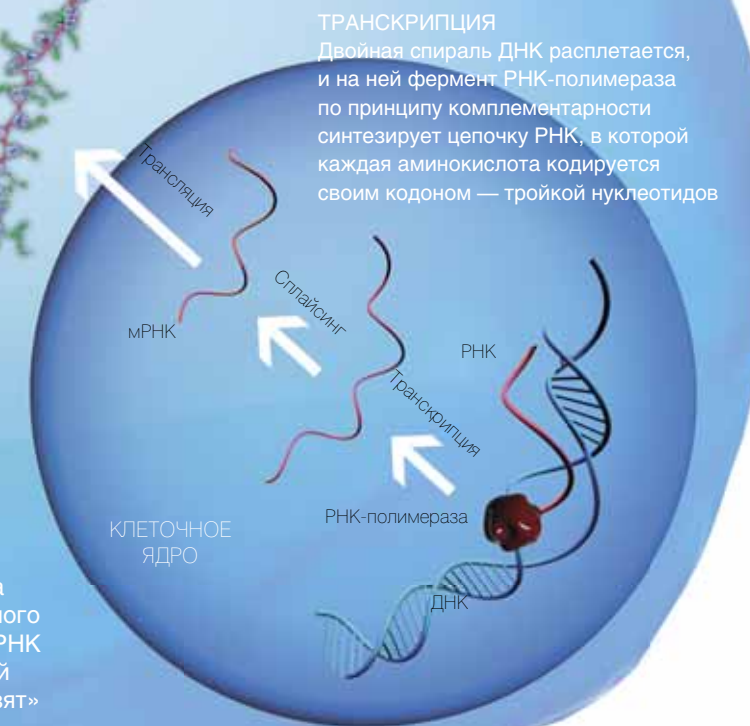
ТРАНСЛЯЦИЯ

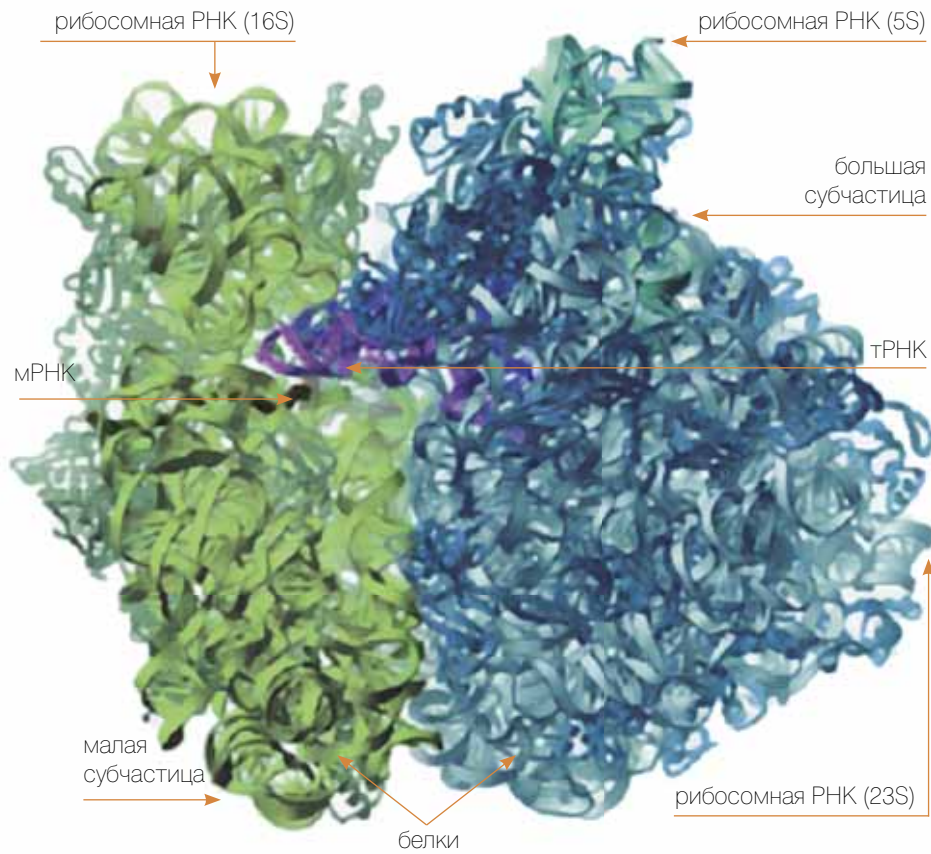
Множество рибосом в эукариотической клетке синтезируют белок по матрице мРНК — они нанизаны на нее как бусины. Видно, как по мере продвижения рибосомы по матрице белковая цепь удлиняется.

Электронная микроскопия. Фото Е. Киселевой (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск)

Белковый «конвейер»

Информация о строении белков записана в отдельных участках ДНК — генах. Синтез белка начинается с копирования информации с отдельного гена на РНК (транскрипция). Зрелую матричную РНК (мРНК) «читают» рибосомы и синтезируют по ней белковую цепь из аминокислот, которые «подвозят» транспортные РНК (тРНК) (трансляция)





Модель работающей бактериальной рибосомы, построенная на основании данных рентгеноструктурного анализа (по: Yusupov et al., 2001)

РНК малой и большой субчастиц рибосом можно легко разделить с помощью электрофореза в агарозном геле. На электрофореграмме — рибосомные РНК млекопитающих: высокомолекулярные мигрируют в виде отдельных полос, а низкомолекулярные, которые движутся в геле значительно быстрее, не разделяются

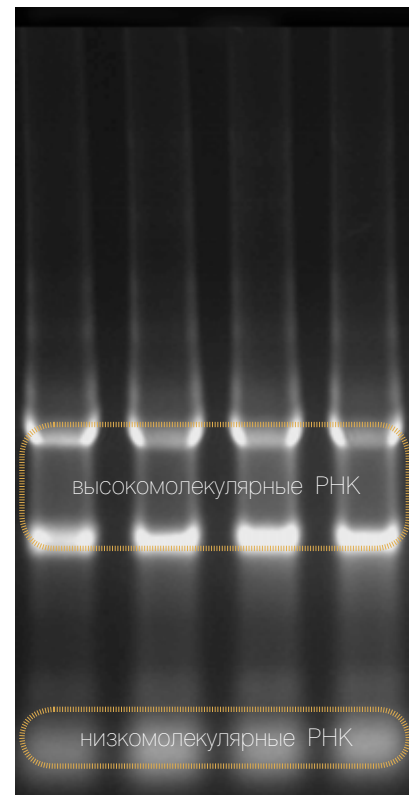
клетки: около полувека назад было установлено, что аминокислотные последовательности всех белков непосредственно закодированы в ДНК с помощью так называемого

Точность белкового синтеза рибосомой исключительно высока — у человека ошибка составляет один на три тысячи «неправильный» аминокислотный остаток

генетического кода. Согласно этому коду, универсальному для всех живых организмов, каждой из двадцати существующих аминокислот соответствует свой *кодон* — тройка нуклеотидов, представляющих собой элементарные единицы цепочки ДНК. Любой белок закодирован в ДНК определенной последовательностью кодонов. Эта последовательность называется *геном*.

Как же эта генетическая информация доходит до рибосомы? На отдельном гене, как на матрице, синтезируется цепь еще одной информационной молекулы — *рибонуклеиновой кислоты* (РНК). Этот процесс копирования гена, называемый *транскрипцией*, осуществляется специальными ферментами — РНК-полимеразами.

Но РНК, полученная таким образом, еще не является матрицей для синтеза белка: из нее, вырезаются определенные «некодирующие»



Сотрудница лаборатории структуры и функции рибосом ИХБФМ СО РАН м.н.с. Д.Д. Яньшина проводит электрофорез рибосомных белков

куски нуклеотидной последовательности (процесс *сплайсинга*).

В результате получается *матричная РНК* (мРНК), которая и используется рибосомами в качестве программы для синтеза белка. Сам синтез, т.е. перевод генетической информации с языка нуклеотидной последовательности мРНК на язык аминокислотной последовательности белка, называется *трансляцией*.

Декодирование и синтез

В клетках эукариот одну мРНК обычно транслирует сразу множество рибосом, образуя так называемые *полисомы*, которые можно отчетливо видеть с помощью электронной микроскопии, позволяющей получать увеличение в десятки тысяч раз.

Как поступают в рибосому аминокислоты, являющиеся строитель-

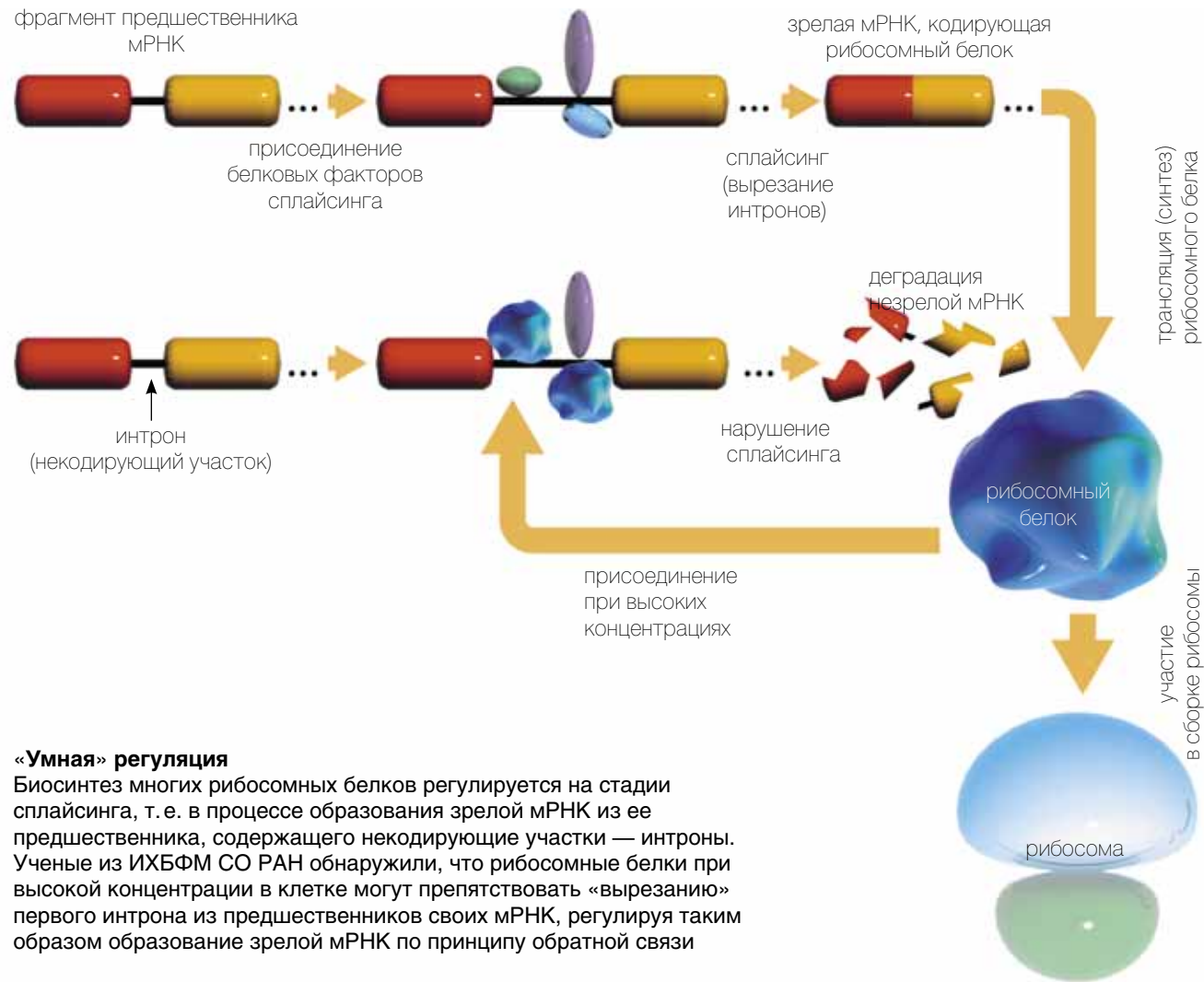
ными кирпичиками для синтеза белка? Еще в 50-х годах прошлого столетия были открыты особые «перевозчики», доставляющие аминокислоты в рибосому, — короткие (длиной менее 80 нуклеотидов) *транспортные РНК* (тРНК). Специальный фермент присоединяет аминокислоту к одному из концов тРНК, причем каждой аминокислоте соответствует строго определенная тРНК. Синтез белка на рибосоме включает три основные стадии: начало, удлинение полипептидной цепи и окончание.

Сама рибосома — одна из самых сложно организованных молекулярных машин клетки — состоит из двух неравных частей, так называемых субчастиц (малой и большой). Ее можно легко разделить на части центрифугированием при сверхвысоких скоростях в специальных пробирках с раствором сахарозы, концентрация которой увеличива-

ется сверху вниз. Поскольку малая субчастица в два раза легче большой, они движутся от верха пробирки к дну с разными скоростями.

Малая субчастица отвечает за декодирование генетической ин-

В раковых клетках резко повышается уровень некоторых рибосомных белков. Возможная причина — сбои в механизмах авторегуляции их производства



«Умная» регуляция

Биосинтез многих рибосомных белков регулируется на стадии сплайсинга, т. е. в процессе образования зрелой мРНК из ее предшественника, содержащего некодирующие участки — интроны. Ученые из ИХБФМ СО РАН обнаружили, что рибосомные белки при высокой концентрации в клетке могут препятствовать «вырезанию» первого интрона из предшественников своих мРНК, регулируя таким образом образование зрелой мРНК по принципу обратной связи

формации. Она состоит из высокомолекулярной *рибосомной* РНК (рРНК) и нескольких десятков белков (около 20 у прокариот и более 30 — у эукариот).

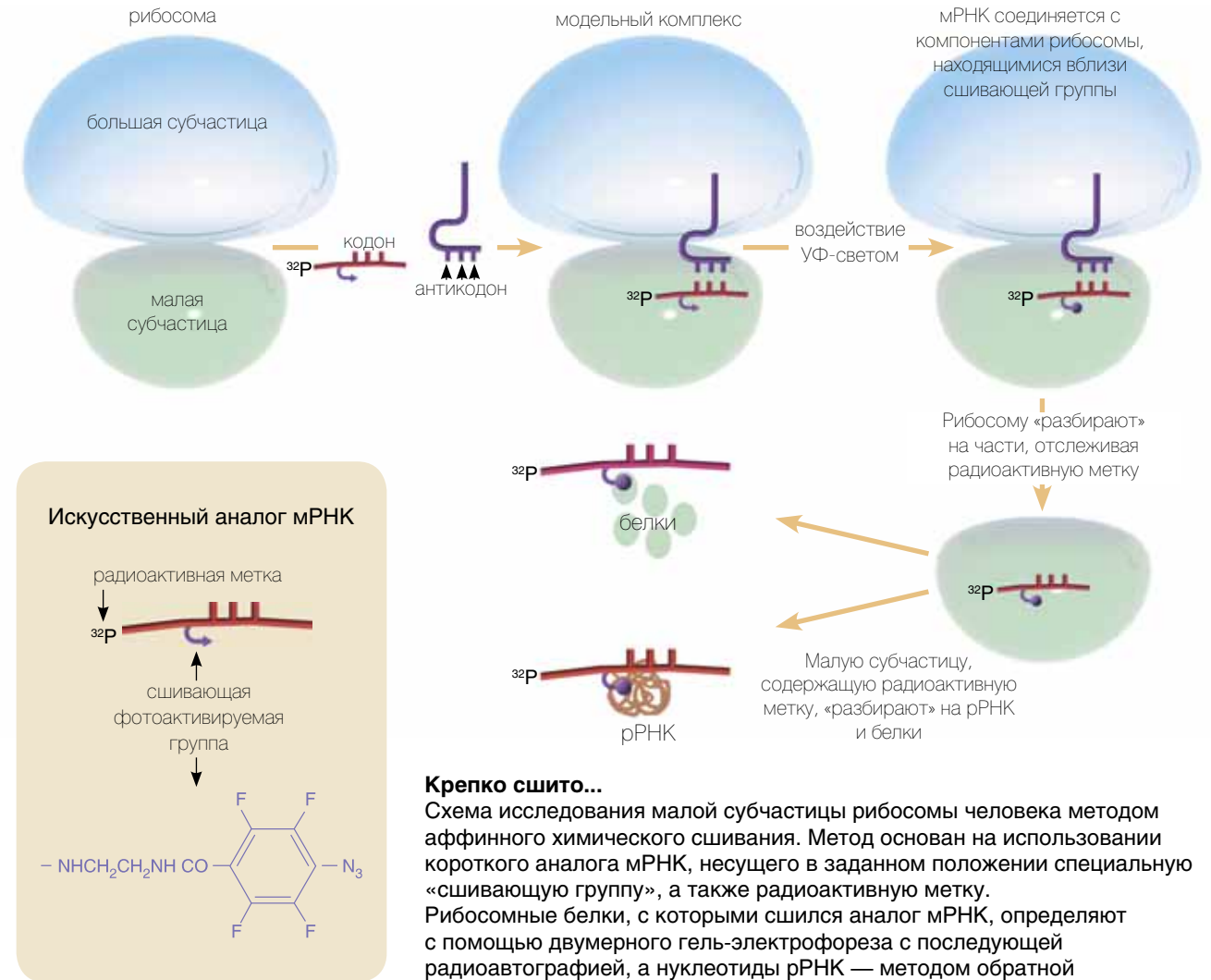
Большая субчастица, ответственная за образование пептидной связи между аминокислотными остатками, состоит из нескольких рРНК: одной высокомолекулярной и одной (или двух в случае эукариот) низкомолекулярной, а также нескольких десятков белков (более 30 у прокариот и до 50 у эукариот). О масштабе деятельности рибосом можно судить хотя бы по тому факту, что рибосомная РНК составляет около 80% всей РНК

клетки, тРНК, транспортирующая аминокислоты, — около 15%, тогда как матричная РНК, несущая информацию о белковой последовательности, — лишь 5%!

Нужно отметить, что рибосомные белки наделены множеством других, дополнительных функций, которые могут проявляться на разных этапах жизнедеятельности клетки. Например, рибосомный белок S3 человека — один из ключевых белков центра связывания мРНК на рибосоме — принимает также участие в «ремонте» поврежденной в ДНК (Kim et al., 1995), участвует в *апоптозе* (запрограммированной гибели клетки) (Jung et al., 2004),

а также защищает от разрушения белок *теплового шока* (Kim et al., 2006).

Кроме того, чересчур интенсивный синтез некоторых рибосомных белков может свидетельствовать о развитии злокачественной трансформации клетки. Например, значительное повышение уровня пяти рибосомных белков было обнаружено в опухолевых клетках толстого кишечника (Zhang et al., 1999). Недавно сотрудниками лаборатории структуры и функции рибосом ИХБФМ СО РАН был открыт новый механизм авторегуляции биосинтеза рибосомных белков у человека, основанный



Крепко сшито...

Схема исследования малой субчастицы рибосомы человека методом аффинного химического сшивания. Метод основан на использовании короткого аналога мРНК, несущего в заданном положении специальную «сшивающую группу», а также радиоактивную метку. Рибосомные белки, с которыми сшился аналог мРНК, определяют с помощью двумерного гель-электрофореза с последующей радиоавтографией, а нуклеотиды рРНК — методом обратной транскрипции

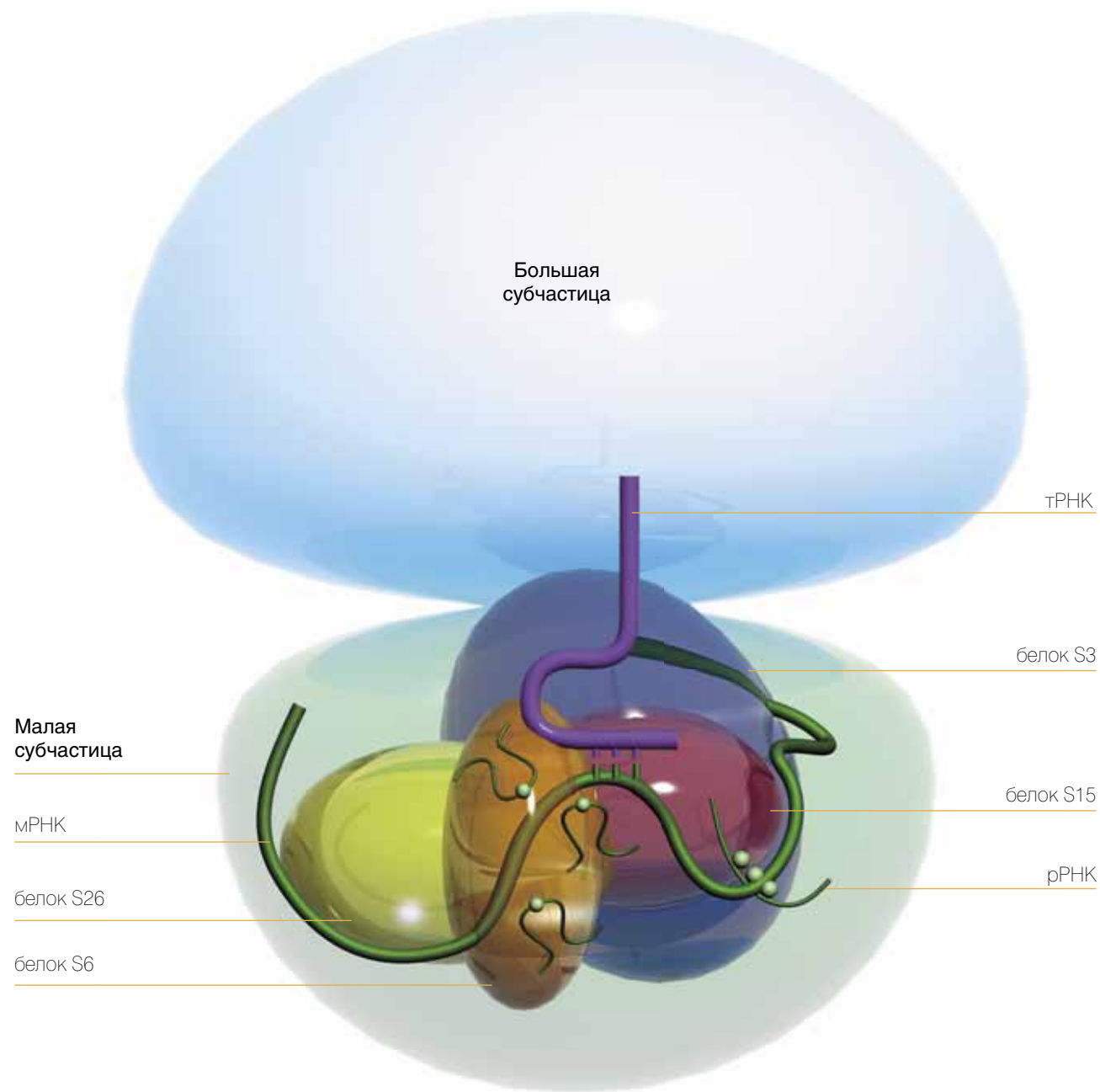
на принципе обратной связи. Неправильный синтез рибосомных белков, характерный для опухолевых клеток, вероятно, вызван сбоями именно в этом механизме. Дальнейшие исследования в этой области представляют особый интерес не только для ученых, но и для медиков.

Работает как «рибозим»

Удивительно, но, несмотря на миллиарды лет эволюции, разделяющие бактерии и человека, вторичная структура рибосомальных РНК у них мало различается.

О том, как уложена рРНК в субчастицах и каким образом она взаимодействует с рибосомными белками, до недавнего времени было известно не много. Революционный сдвиг в понимании устройства рибосомы на молекулярном уровне произошел на рубеже нового тысячелетия, когда с помощью рентгеноструктурного анализа удалось расшифровать на уровне отдельных атомов структуру рибосом простейших организмов и их модельных комплексов с мРНК и тРНК. Это позволило понять молекулярные механизмы декодирования генетической информации и образования связей в молекуле белка.

Оказалось, что оба важнейших функциональных центра рибосомы — как декодирующий на малой субчастице, так и отвечающий за синтез белковой цепочки на большой субчастице — сформированы не белками, а рибосомной РНК. То есть, рибосома работает подобно *рибозимам* — необычным ферментам, состоящим не из белков, а из РНК. Рибосомные белки, тем не менее, также играют важную роль в работе рибосомы. В отсутствие этих белков рибосомные РНК совершенно неспособны ни декодировать генетическую информацию, ни катализировать образование пептидных связей. Белки обеспе-



Строение декодирующего центра рибосомы человека

Матричная РНК, несущая информацию об аминокислотной последовательности белка, связывается с рибосомой в особом канале малой субчастицы — в так называемом декодирующем центре рибосомы. Хотя этот канал у всех организмов функционирует схожим образом, строение его у прокариот и эукариот различается. В малой субчастице рибосом высших организмов (и соответственно, человека) белков больше, чем у низших, причем некоторые из них (как белки S6 и S26) не имеют «двойников» среди белков рибосом прокариот. Ключевым белком декодирующего центра у эукариот является белок S15, но его двойник в рибосоме прокариот находится в другом месте. Из всех белков, формирующих у высших организмов канал для считывания мРНК, лишь белок S3 имеет прокариотический гомолог.

чивают необходимую для работы рибосомы сложную «укладку» рРНК в функциональных центрах, служат «передатчиками» изменений пространственной структуры рибосомы, необходимых в процессе работы, а также связывают различные молекулы, влияющие на скорость и точность процесса белкового синтеза.

Сама рабочая схема белкового цикла в принципе одинакова для рибосом всех живых существ. Однако до сих пор неизвестно, до какой степени схожи молекулярные механизмы работы рибосом у разных организмов. Особенно не хватает информации об устройстве функциональных центров рибосом высших организмов, которые изучены гораздо хуже, чем рибосомы простейших.

Это связано с тем, что многие из методов, успешно использованных для исследования рибосом прокариот, оказались для эукариот неприменимыми. Так, из рибосом высших организмов не удается получить кристаллы, пригодные для рентгеноструктурного анализа, а их субчастицы невозможно «собрать» в пробирке из смеси рибосомных белков и рРНК, как это делается у простейших.

От низших — к высшим

И все-таки способы получения сведений о строении функциональных центров рибосом высших организмов существуют. Одним из таких методов является метод химического аффинного сшивания, разработанный 35 лет назад в отделе биохимии НИОХ СО АН СССР (ныне ИХБФМ СО РАН) под руководством академика Д. Г. Кнорре.

Метод основан на использовании коротких синтетических мРНК, несущих в выбранном положении химически активные («сшивающие») группы, которые в нужный момент

можно активировать (например, облучая мягким ультрафиолетовым светом).

Достоинство этого метода в том, что сшивающую группу можно присоединить практически к любому нуклеотидному остатку мРНК и в результате получить детальную информацию о его окружении на рибосоме. Используя набор коротких мРНК с разным расположением сшивающей группы, нам удалось определить рибосомные белки и нуклеотиды рРНК рибосомы человека, образующие канал для считывания генетической информации в процессе трансляции.

Впервые экспериментально удалось показать, что все нуклеотиды рРНК малой рибосомной частицы человека, соседствующие с кодонами мРНК, расположены в консервативных районах вторичной структуры молекулы рРНК. Более того, их расположение совпадает с положением соответствующих нуклеотидов во вторичной структуре рРНК рибосом низших организмов. Это позволило сделать вывод, что эта часть рибосомной РНК малой субчастицы составляет эволюционно консервативный «кор» (сердцевину) рибосомы, структурно идентичный у всех организмов.

С другой стороны, в устройстве мРНК-связывающего канала рибосом у человека и низших организмов обнаружен ряд принципиальных различий. Оказалось, что у высших организмов рибосомные белки играют намного большую роль в формировании этого канала, чем у прокариот, кроме того, в этом участвуют также белки, не имеющие «двойников» (гомологов) у низших организмов.

Почему же, несмотря на то, что функция рибосомы практически не изменилась в процессе эволюции, в организации декодирующего центра рибосом у высших организмов появились специфические черты? Вероятно, это связано с более сложной и многостадийной регуляцией

Метод аффинного химического сшивания был разработан 35 лет назад в отделе биохимии НИОХ СО АН СССР (ныне ИХБФМ СО РАН) под руководством академика Д. Г. Кнорре. До появления рентгеноструктурного анализа рибосом он использовался во всем мире для изучения рибосом у прокариот. Этот метод и сегодня является основным для изучения структурно-функциональной организации рибосом высших организмов

белкового синтеза у эукариот по сравнению с прокариотами, в ходе которой рибосомные белки мРНК-связывающего канала могут взаимодействовать не только с мРНК, но и с различными факторами, влияющими на эффективность и точность трансляции. Так ли это, покажут дальнейшие исследования.

В. В. РУЖИЧ, С. Г. ПСАХЬЕ

БРОСИТЬ ВЫЗОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЮ

Каким маленьким и слабым предстает человек перед землетрясением — грозным проявлением несокрушимой и неуправляемой природной стихии. Но так ли это на самом деле? Маленький и слабый, в новом тысячелетии человек учится двигать горы...

Человечество издавна пыталось противостоять землетрясениям. Однако до сегодняшнего времени борьба эта сводилась, в конечном счете, лишь к смягчению их катастрофических последствий. Ни сейсмическое районирование, ни сейсмостойкое строительство, ни совершенствованные спасательные работы, так же как и достаточно скромные достижения в прогнозе землетрясений, не позволили добиться заметного снижения ущерба от сейсмической стихии.

Очевидно, что в ближайшем будущем достоверный краткосрочный прогноз землетрясений останется по-прежнему недостижимым. Поэтому в последние десятилетия ученые из разных стран стали задумываться о возможности альтернативных, более радикальных и эффективных, подходов к снижению сейсмического риска.

Как возникают землетрясения

Земная кора разбита на многочисленные блоки малых, больших и гигантских размеров, разделенные разрывами, соизмеримыми с ними по масштабам. Самые большие из последних в геологии принято называть *разломами*. Этот факт дает основание с позиций механики отнести земную кору к разряду так называемых *разломно-блоковых* сред. Практически все часто повторяющиеся геологические явления деформации земной коры во многом определяются различными процессами, происходящими именно в граничных участках, т. е. в трещинах и разломах.

Сегодня большинство ученых сходится во мнении, что землетрясения возникают в результате быстрых эпизодических смещений «берегов»

На фото слева — след алтайского землетрясения 2004 г.
Фото Е. Высоцкого



РУЖИЧ Валерий Васильевич — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института земной коры СО РАН (г. Иркутск). Область научных интересов: физика очагов землетрясений, механика разломообразования, прогноз землетрясений, физические и натурные эксперименты



ПСАХЬЕ Сергей Григорьевич — доктор физико-математических наук, директор Института физики прочности и материаловедения, председатель ТНЦ СО РАН (г. Томск). Область научных интересов: прочность и пластичность гетерогенных сред, механика разломно-блоковых сред, математическое моделирование

разломов. Скорости смещений при этом могут достигать 10 м/с и более. Вибрации крыльев разломов, возникающие при быстрых смещениях, возбуждают колебания масс горных пород в широком диапазоне, которые распространяются в виде упругих волн. В диапазоне частот 1–15 герц они нередко оказываются губительными, проявляясь на земной поверхности в виде катастрофических землетрясений, особенно если сопровождаются почти мгновенным образованием *сейсмодислокаций* — зон протяженных трещин.

Подчеркнем, что источник возбуждения сильных сейсмических колебаний возникает в зонах разломов только при очень быстрых движениях, что, к счастью, случается не часто. В продолжительных промежутках между эпизодами быстрых движений в разломах также отмечаются перемещения, но

очень медленные, в так называемом *режиме вязкого течения* или *тектонического крипа* («крип» означает «ползти») со средней скоростью 0,1–10 мм в год.

Причинами тектонического деформирования разломно-блоковой системы земной коры являются физико-химические процессы, идущие в недрах нашей планеты, а также действие на нее (как на космическое тело Солнечной системы) внеземных энергетических источников. В результате в земных недрах накапливается тектоническая энергия, небольшая часть которой

В виде разрушительных землетрясений выделяется лишь небольшая часть энергии, накопленной в недрах благодаря деформациям земной коры



(1–5%) и выделяется в виде разрушительных сейсмических колебаний при очень сильных землетрясениях. Образовавшиеся при этом сейсмодислокации могут, в свою очередь, сами разрушать жилые и хозяйственные объекты, а также приводить к таким экологическим катастрофам, как сели и обвалы.

Помог «Сдвиг»

Таким образом, земная кора, как и другие глубокие слои Земли, напряжена и таит в своих недрах огромный запас тектонической энергии, малая часть которой выделяется в виде волновых колебаний при внезапных ускоренных смещениях берегов разломов. И здесь возникает «крамольная» мысль: а что если научиться каким-то образом управлять движениями в опасных фрагментах разломов?

Именно такой идеей в течение последних одиннадцати лет и руководствовались авторы вместе со своими коллегами. Важную роль в ее разработке сыграло создание высокоточного измерительного комплекса «Сдвиг», предназначенного для прямой фиксации движений в сейсмоопасных разломах. Первый его образец с датчиком индукционного типа был сконструирован в 1994 г. в иркутском Институте земной коры СО РАН, а затем испытан во фрагменте зоны одного из разломов на полигоне вблизи п. Слюдянка.

Через год был разработан оригинальный датчик кольцевого типа. Новый измерительный комплекс был установлен во внутренних участках Ангарского сейсмоактивного разлома, благодаря чему удалось в течение многих лет следить за движениями в нем с высокой (около 1–2 мкм) точностью.

Первые же результаты, полученные на полигоне в п. Листвянка, удивили. В частности, было обнаружено, что движения во внутренних участках разлома происходят непрерывно и имеют сложный возвратно-поступательный характер, определяющийся рядом факторов: колебаниями температуры, ветровой нагрузкой, изменениями атмосферного давления и влажности, сейсмическими сотрясениями от близких сильных землетрясений и, конечно же, медленными тектоническими деформациями, которые обычно выявляются лишь при длительных наблюдениях.

Ключевым моментом в ходе исследований явилось установление высокой «чувствительности» трещин и, соответственно, самого Ангарского разлома к внешним воздействиям на горный массив (Ружич, Трусков, Черных и др., 1999). В ходе дальнейшего мониторинга с использованием более совершенной аппаратуры было обнаружено, что даже слабые (с энергией 500–1000 Дж) динамические ударные воздействия на горный массив — иерархически упорядоченную блочную систему — способны вызывать заметное изменение режима

Карта прогноза землетрясений в Байкальском регионе на 2000–2050 гг., на которой также отмечены эпицентры землетрясений, реально произошедших в регионе с 1999 г. Наиболее значимые из последних произошли в местах, где были предсказаны сильные сейсмические события.

Авторы-составители: В. В. Ружич, Е. А. Левина, Р. М. Семенов (1999 г.)

- эпицентры возможных землетрясений с разной энергией в 2000–2050 гг., пунктиром обозначены области с интенсивностью сотрясений предположительно от 7 до 10 баллов;
- реальные землетрясения с интенсивностью сотрясений от 5 до 8 баллов, произошедшие с октября 1999 г. по сентябрь 2006 г.

смещений по границам блоков, т. е. трещинам. Характер отклика на воздействия зависел и от способа приложения динамической нагрузки. Реакция на воздействия могла быть как мгновенной, так и отсроченной, но при этом ярко выраженной и длительной. Период отсрочки составлял от нескольких минут до суток и более.

Это было новым. Последующие натурные эксперименты — как на Ангарском разломе, так, позднее, и на других — доказали, что на режим смещений разломов, их скорость или направленность можно влиять техногенными воздействиями.

На территории астрофизической обсерватории Института солнечной и земной физики СО РАН в п. Листвянка расположен фрагмент зоны Ангарского сейсмоактивного разлома, удобный для геофизического изучения.

- I — Главный Саянский разлом;
- II — Приморский;
- III — Хамардабанский;
- IV — Ангарский

Вода и огонь

На факты возникновения слабых землетрясений при закачках жидкости в горный массив ученые обратили внимание давно. Например, в Денвере в 1964 г. американские специалисты закачали в глубокие скважины жидкие отходы, что вызвало вспышку сейсмической активности в виде серии многочисленных, но слабых землетрясений, возникших на глубинах 4–8 км.

Так было установлено, что проникновение жидкости в глубокие горизонты земной коры может приводить

к активизации движений по трещинам и разломам. Это в свою очередь вызывает уменьшение избыточных напряжений в земной коре на фоне многочисленных гидравлически инициированных смещений в трещинах. Этот процесс обычно сопровождается большим числом слабых сейсмических толчков.

В 1997 и 2000 гг. японские ученые провели тщательно спланированные эксперименты по изучению влияния воды, закачанной в разлом Нойима (с ним связано разрушительное землетрясение в январе 1995 г.). Эти действия также привели к возникновению в течение

нескольких дней многочисленных слабых сейсмических толчков, гипоцентры которых фиксировались на глубинах 4 км и более — намного глубже уровня, на который закачивалась вода. Проникновение воды в трещинно-поровое пространство горной породы привело к увеличению порового давления и уменьшению напряжений в зоне разлома. Заливка жидкости способствовала также запуску механизма «ползучести», что обеспечивало плавное и постепенное высвобождение энергии недр через активизацию смещений по трещинам (Nishigavi et al., 2002).

Уникальный измерительный комплекс «Сдвиг-ЗМ», позволяющий с высокой точностью фиксировать движения в сейсмоопасных разломах. Эта последняя модификация разработана в томском Институте физики прочности и материаловедения СО РАН

Сверхглубокий (более 500 м) карьер «Удачный» (Республика Саха), на котором проводятся массовые промышленные взрывы для добычи алмазов, стал для ученых из Института земной коры СО РАН моделью для изучения влияния высокоэнергетических воздействий на сейсмоактивные разломы



Сибирская команда «охотников за землетрясениями» в конце очередного экспедиционного сезона. Август 2005 г., Листвянка

Судя по этим примерам, для безопасного снижения избыточных напряжений в очагах будущих землетрясений не требуется бурить скважины до глубин 15–20 км. Более того, в недрах земной коры содержится немало подземных водоносных систем, и можно попытаться перенаправить их в нужное «русло».

Оценить сеймотектонические эффекты других видов воздействий на разломы — высокоэнергетических — позволили данные испытаний подземных ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне и в штате Невада (США). Взрывы с мощностью в десятки-сотни килотонн, проводившиеся на невадском полигоне в скважинах километровой глубины, вызывали смещения в виде свежих трещин протяженностью во многие километры в зонах близлежащих разломов.

Подобные подземные взрывы иногда провоцировали и землетрясения, энергия которых, как правило, была примерно в 100–1000 раз меньше, чем энергия самих взрывов. Динамическое воздействие таких взрывов, очевидно, способствует разгрузке избыточных напряжений в земной коре, что и выражается в виде умеренных по силе землетрясений. Тем самым предотвращается

более сильное и опасное готовившееся сейсмическое событие (Тарасов, Тарасова, 1995). Поэтому в районах испытаний обычно наблюдается заметное снижение энергетического уровня землетрясений.

«Прививка» от землетрясения

В качестве способов воздействия на разломы авторы и их коллеги использовали бурение скважин, удары копра (установки для забивки свай), промышленные взрывы, заливку воды через скважины и т.п. В том числе была обнаружена отчетливо выраженная реакция Ангарского разлома на ветровые колебания 25-метровой вышки солнечного вакуумного телескопа во время шторма в сочетании с «дождевым обводнением».

Действие массовых промышленных взрывов изучалось на сверхглубоком карьере «Удачный» в Республике Саха, где глубина открытой выработки достигает 560 м, а вес зарядов взрывчатых веществ измеряется десятками тонн.



Силу готовящегося землетрясения можно ослабить, закачав воду или проведя серию направленных взрывов

Подобного рода натурные испытания, но уже с малыми весовыми зарядами взрывчатых веществ, проводились и на других разломах Восточной Сибири, а также на сейсмогенных трещинах протяженностью в сотни километров в Монголии, где только в прошлом столетии произошло четыре сильнейших землетрясения.

Нужно заметить, что при взрывном способе разгрузки все же существует риск, пусть и небольшой, вызвать быструю подвижку и спровоцировать землетрясение, особенно если его очаг уже готов к разрядке. Поэтому более безопасным и контролируемым способом, очевидно, является разгрузка с помощью менее сильных, но частых и продолжительных вибрационных воздействий. К сожалению, современные вибраторы, работающие на поверхности, мало пригодны для этих целей, потому что генерируемые ими упругие колебания, быстро рассеивающиеся с глубиной, оказывают лишь слабые динамические воздействия на глубинные части разломов. Необходимо создать новые конструкции вибраторов, и над решением этой задачи уже работают российские специалисты.

Эффективность управления движением в активных разломах можно значительно повысить, если использовать комбинированный способ воздействия,

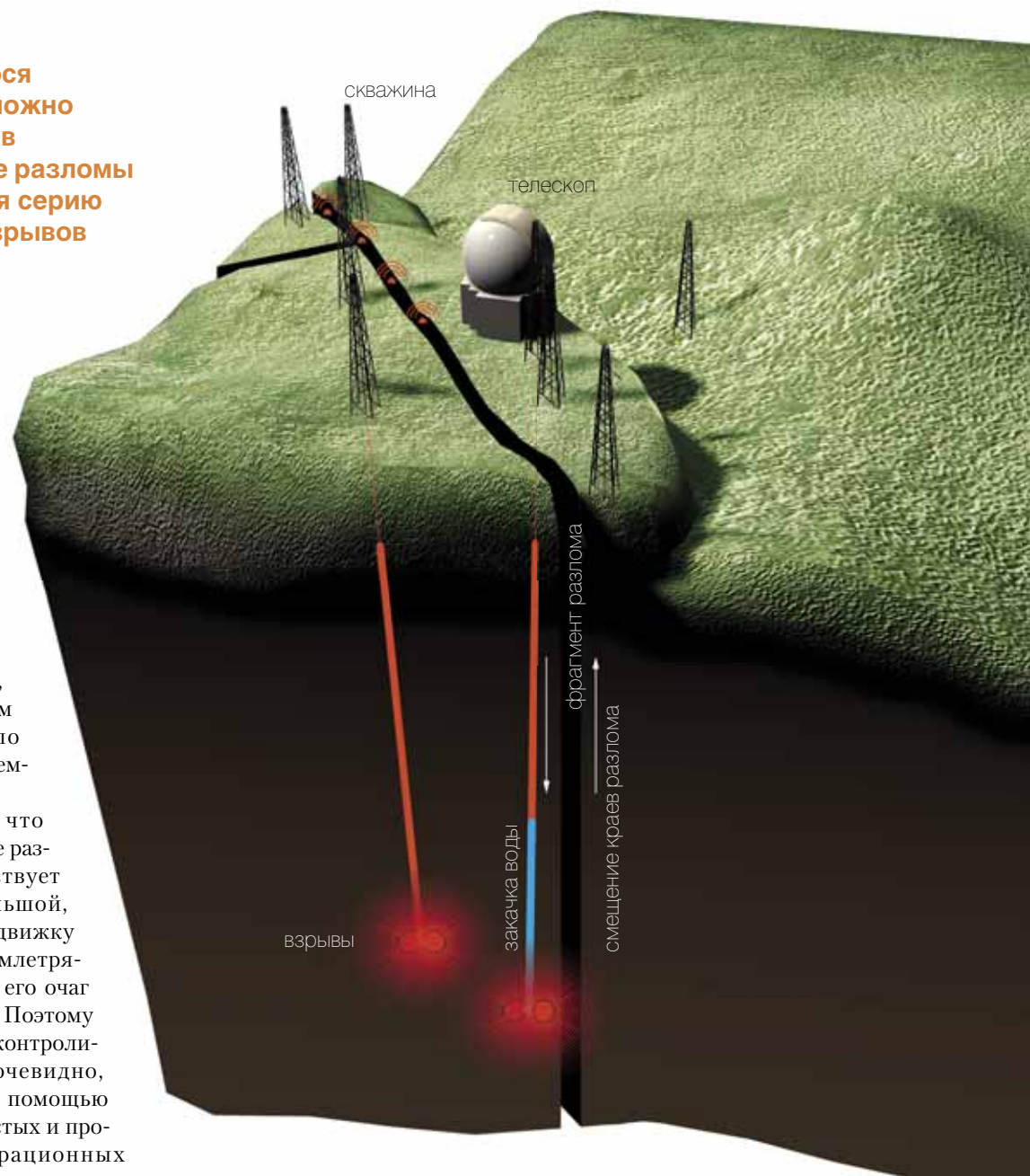


Схема эксперимента по смещению краев разлома на полигоне в п. Листвянка. В качестве техногенных воздействий использовались: вибрации от вышки телескопа в шторм и от бурового станка при бурении скважин, закачка воды, взрывы

а именно — сочетать вибрационные и/или виброимпульсные (взрывные) воздействия с нагнетанием в глубинные фрагменты разломов водных растворов.

Результаты натурных экспериментов, проведенных на полигоне в п. Листвянка в зоне Ангарского разлома в 2004—2006 гг., дали в этом смысле весьма оптимистичные результаты. Например, в 2004 г. за несколько дней удалось достаточно плавно сместить берега разлома примерно на сантиметр в направлении сбросо-сдвигового движения. В естественных условиях при скорости тектонического крипа около 0,05—0,08 мм/год на это понадобились бы многие десятилетия! Такое спровоцированное смещение привело к значительной разгрузке тектонических напряжений в горном массиве.

В августе 2006 г. на том же полигоне были проведены испытания вибрационной системы принципиально нового типа, разработанной в московском Институте динамики геосфер РАН под руководством Г. Г. Кочаряна. Это устройство работает на принципе взрывания воздушно-газовой смеси в скважине, пробуренной в зоне разлома и заполненной водой. Энергия детонационной волны в скважине оказывает мощное ритмичное воздействие на горный массив и на разлом. Испытания показали, что такие вибраторы, при условии их дальнейшего совершенствования, как нельзя лучше подходят для управления режимами смещений в активных разломах.

На основе экспериментальных данных, собранных в течение десятилетия, у нас появилось твердое убеждение: управлять движениями в разломах с помощью техногенных воздействий можно! И в 2006 г. на изобретение «способа управления режимом смещений во фрагментах сейсмоактивных тектонических разломов» был получен патент Российской Федерации.

Изучать, чтобы управлять

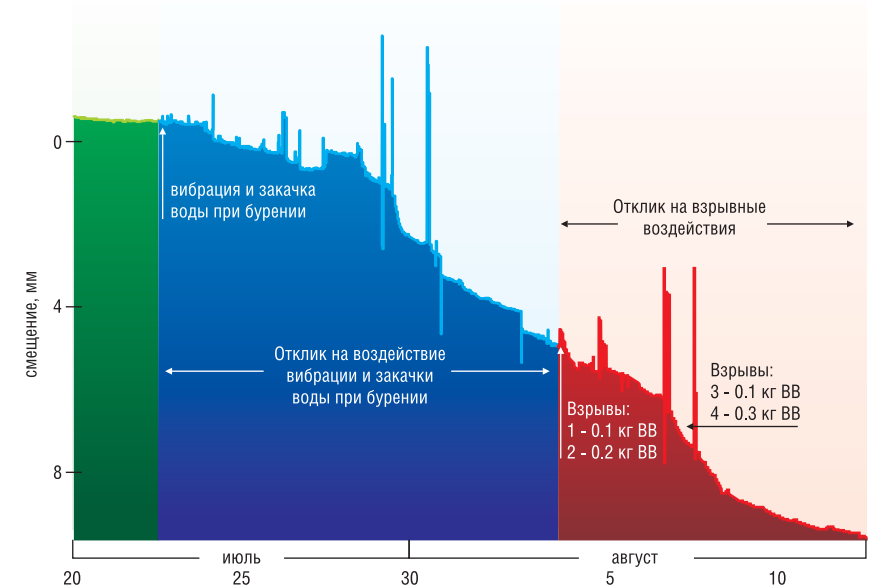
Конечно же, у многих читателей возникли закономерные вопросы относительно возможностей такого необычного подхода: одно дело управлять движениями во фрагментах разломов с протяженностью в десятки метров вблизи земной поверхности, и другое — проводить подобные мероприятия на фрагментах разломов большой глубины и с длинами в десятки километров! Ведь в Прибайкалье, например, очаги сейсмических толчков обычно располагаются на глубине 10—25 км, где температура достигает 300—700 °С, а давление — 3—7 тыс. атмосфер.

Еще один важный вопрос: какие энергетические источники нужно использовать для эффективного воздействия на глубинные фрагменты разломов, чтобы вызвать смещения с амплитудой хотя бы в десятки

сантиметров? Ведь даже такие относительно небольшие смещения уже могут быть достаточны для уменьшения риска возникновения опасного сейсмического события на ближайшие десятки-сотни лет. Кроме того, необходимо понять — не спровоцируем ли мы своими воздействиями преждевременное наступление сильного землетрясения, уже подготовленного природой? И, наконец, — насколько обнаруженные закономерности являются общими, каковы их управляющие параметры?

Проблемы, связанные с ограниченностью наших знаний о глубинных сеймотектонических процессах, могут быть решены с использованием аналитических методов. Подобные работы ведутся в рамках совместного проекта Института земной коры СО РАН и Томского Института физики прочности и материаловедения СО РАН. С помощью разработанных там тео-

Впервые в мировой практике с помощью техногенных воздействий удалось сместить почти на сантиметр края фрагмента разлома на глубине свыше 12 метров (п. Листвянка, 2004 г.). Эксперимент доказал принципиальную возможность управления движением сейсмоопасных разломов





Наиболее безопасный способ управления землетрясениями — разгрузка накопившейся тектонической энергии с помощью не очень сильных, но продолжительных вибрационных воздействий

Каким же образом «борцы с землетрясениями» могут узнать о том, где готовится сильное сейсмическое событие? У специалистов во многих случаях имеются сведения о местоположении очагов готовящихся землетрясений, которые угрожают мегаполисам, атомным станциям, напорным плотинам и другим объектам, неизвестным остается лишь точное время их возникновения.

Однако стратегия упреждающих техногенных воздействий, предлагаемая нами, и не требует достоверного краткосрочного прогноза опасного сейсмического события — чтобы воздействовать на очаг землетрясения, нет нужды дожидаться его окончательного «созревания» и тектонического «финала».

Есть природные катастрофы, и есть природные процессы. Первые в значительной мере являются показателем консерватизма человеческого мышления, недостаточного понимания сути последних.

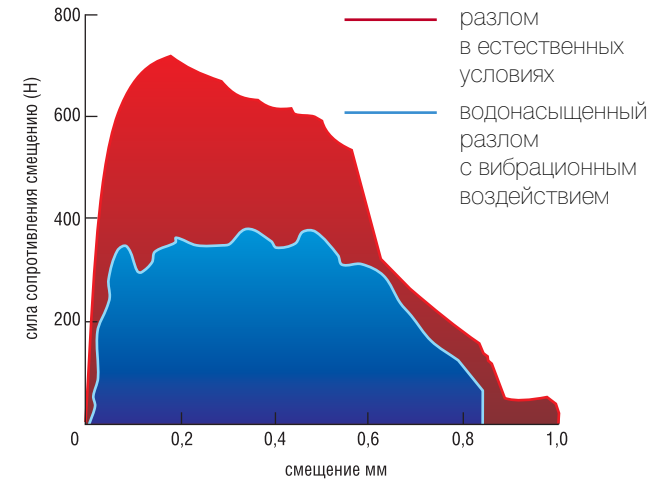
Если мы знаем о причинах и параметрах приближающейся природной катастрофы, то научиться ее предотвращать необходимо.

локальных напряжений в зонах сейсмически активных разломов. Этот подход позволяет также оперативно оценивать ситуацию в ходе испытаний по управляющему воздействию на разломы.

На сегодня разработана конкретная схема техногенных мероприятий по управляющему воздействию на опасные фрагменты разломов. Она предусматривает постоянный контроль над изменениями режима деформаций в разломах, что позволяет при необходимости своевременно вносить в процесс коррективы.

Скважинный генератор сейсмических волн — вибрационная система принципиально нового типа. п. Листвянка, 2006 г.

ретических моделей и результатов компьютерных экспериментов, проведенных на основе метода подвижных клеточных автоматов (Псахье и др., 2000; Psakhie et al., 2001), удалось не только показать общность полученных закономерностей, но и впервые теоретически обосновать принципиальную возможность техногенного снижения



На графике — результате компьютерных экспериментов — показана зависимость силы сопротивления крыльев разлома от величины «навязанных» смещений соседних блоков (как естественной, так и техногенной природы). В случае «обычного» разлома рост силы сопротивления происходит до некоторого критического значения, а затем происходит срыв, соответствующий сейсмическому удару. Если же на разлом воздействовать вибрацией в сочетании с обводнением, то график силы сопротивления будет представлять собой достаточно гладкое плато с незначительными колебаниями: накопленная энергия недр будет выделяться в так называемом режиме ползучести без катастрофических сейсмических событий

Человечество уже сейчас способно осуществлять достаточно эффективные воздействия на сейсмически опасные зоны, которые способны освободить недра Земли от избытка накопленной тектонической энергии. Важно осознать, что эта возможность реальна, и действовать совместными усилиями в рамках международных проектов.

Хочется отметить, что ученые и государственные структуры таких стран, как Монголия, Иран, Германия и Япония, уже заинтересовались разработанным в Сибири способом предотвращения сильных землетрясений. Значит, впереди — новые масштабные эксперименты и новые открытия на долгом и трудном пути к контролю над стихией, до сих пор остающейся непокоренной.

В публикации использованы фотографии В. Ружича

Геолого-геофизическое обследование зоны

Геологическое изучение зоны Геофизическое изучение зоны Выбор объекта воздействия

Изучение параметров отклика активными методами для выявления состояния разлома или его фрагментов

Инструментальные измерения современных смещений

Взрывное воздействие

Вибрационное воздействие

Закачка водных растворов

Построение геодинамического портрета в виде базы данных разлома или его фрагмента

Построение компьютерной модели разлома или его фрагмента

Выбор оптимальных параметров и вида техногенного воздействия на разлом с целью перевода смещений зоны разлома в режим вязкого сдвигового течения

Проведение мероприятий управляющего техногенного воздействия на разлом или его фрагмент (вибрации, взрывы, закачки)

Контроль параметров отклика на воздействие. Оценка эффекта воздействия в ходе мониторинга

Схема управления деформациями во фрагментах сейсмоопасных разломов — реальная заявка на контроль над землетрясениями

РУССКИЕ СИБИРЯКИ

По материалам Второй Камчатской экспедиции

А. Х. ЭЛРТ



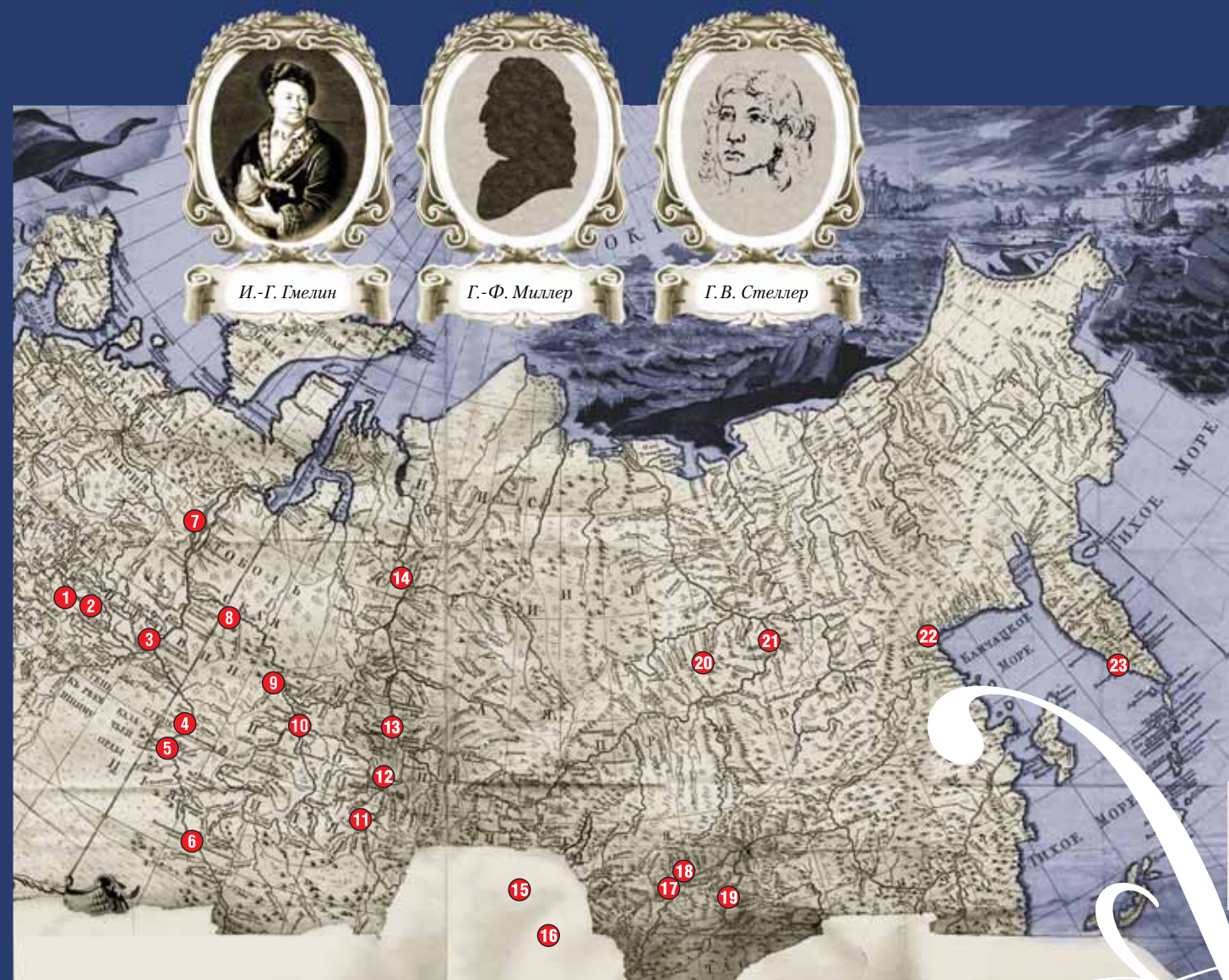
ЭЛРТ Александр Христианович — доктор исторических наук, главный научный сотрудник Института истории СО РАН (Новосибирск), специалист в области дешифровки, переводов и исследования рукописей XVII—XVIII вв. Основное направление исследований — академические путешествия по Сибири XVIII в.



По большому счету, ничего случайного в истории не бывает. Всякое событие связано массой незримых нитей с другими событиями — прошлого и будущего; они — взаимообусловлены, вступают в прямой диалог. И все-таки. Иногда кажется, что какие-то важнейшие исторические узлы завязываются как бы совершенно случайно... Кто-то что-то сказал, сделал, не туда повел войска, поднялся утром с постели в мизантропическом настроении — и вдруг из этой точки вырастает «эпоха». Таких узлов немало в российской истории. С такого узла она чуть ли не начинается. Мы имеем в виду процедуру выбора «государственной» религии. Страшно сказать, но — если верить «Повести временных лет» — мы вполне могли угодить и в иудаизм,

и в магометанство. Все спасла легендарная фраза Владимира Красно Солнышко: «Руси есть веселие пить, не можем без того быть!» После нее мы стали христианами греческого «извода». Владимир умер в положенный срок, но его «питейный манифест» звучит рефреном в нашей жизни на протяжении столетий. Звучит, порождая мифы, новые теории, их опровержения, сожаления, и конца-края этому сюжету нет. «Веселие» на поверку оказывается не таким уж и «веселием»; оно сильно отдает горем, неурядицами, упадком; оно — почти трагично. Речь и вообще идет о том, что русский народ безнадежно спивается, а будущее страны — в связи с этим — проблематично, если не «безбудуцно».

XVIII ВЕКА И АЛКОГОЛЬ



- | | | | |
|------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| 1. Екатеринбург | 8. Сургут | 15. Иркутск | 22. Охотск |
| 2. Тюмень | 9. Нарым | 16. Кяхтинская слобода | 23. Петропавловск |
| 3. Тобольск | 10. Томск | 17. Читинский острог | |
| 4. Тара | 11. Абаканский острог | 18. Нерчинск | |
| 5. Омск | 12. Красноярск | 19. Аргунский острог | |
| 6. Семипалатинск | 13. Енисейск | 20. Илимск | |
| 7. Березов | 14. Мангазея | 21. Якутск | |



Сегодняшний текст, предлагаемый вниманию читателей, показывает, что благополучно «спивался» русский народ и почти три века назад, что не помешало ему «распространиться» на огромной территории и построить одну из самых могущественных империй в истории человечества. Что-то тут не так — слишком много пафоса в этих разговорах о повальной «алкоголизации» населения, слишком много крайних суждений. Наши соотечественники давно привыкли к «сакрализации» русской водки, но последние пятнадцать лет они имеют возможность сравнивать. Сравнение это выходит парадоксальным — те же европейцы пьют несколько не меньше (если не больше) нас, но при определении их национальных типов алкогольные напитки вовсе не играют роли доминант. Эту психологическую дилемму прекрасно иллюстрирует и опыт академического отряда Второй Камчатской экспедиции. Иностранцы ученые, входившие в его состав, вовсе не чурались вина и водки, но вместе с тем их «культурное питье» не идет ни в какое сравнение с надрывным пьянством тогдашних русских сибиряков. Хотя... Мы снова попадаем в плен стереотипов. Ведь среди иностранцев был, например, Стеллер — с его неумемостью, размахом, предпочтением водки всяким другим напиткам. Он панибратствовал

и с великими, и с малыми; но, если видел неправду, принимался крушить все вокруг себя, невзирая на звания и чины попавших ему под горячую руку. Он сильно напоминает простого русского гренадера — но реализовавшего себя не в деле войны, а в деле науки. Стеллер — пример того, как «национальные» стереотипы разрушаются реальной живой жизнью. И этот пример нужно иметь в виду, знакомясь с научными материалами Второй Камчатской экспедиции, касающимися роли алкоголя в жизни сибиряков XVIII века. Дабы вновь не попасть впросак, водрузив на свой нос кривые очки «национальных» стереотипов. Эти стереотипы и без того уже натворили беды, став причиной того, что наследие крупнейших ученых И. Г. Гмелина и Г. Ф. Миллера долгое время оставалось недооцененным. И более того — попало в разряд подозрительных. Что же подозревали в нем? Говоря одним словом — русофобию. Вспомним — гмелинское «Путешествие по Сибири» упрекали в насмешливости по отношению к русскому народу, а известную миллеровскую диссертацию сочли в этом смысле «предосудительной», обвинив в «занозливости» и выискивании «пятен на русской одежде». Что здесь правда, а что очевидное преувеличение? Рассуждения о русском пьянстве, коих предостаточно в текстах этих ученых, помогут ответить на этот вопрос. Показательный пример — Гмелин, посетив винокурный завод в окрестностях Иркутска, советует, как улучшить производство «вина», а ему на это отвечают: «Не нужны нам твои советы — как делали наши деды, так и мы будем делать». Стереотип готов — протестантская страсть к улучшению жизни разбивается о русскую косность и леность. И это — ложь. Потому что рациональные нововведения предлагал в те времена не только Гмелин, но и, скажем, Ломоносов. Разве он не был русским человеком? Люди, прежде всего, делятся не по национальному типу, а по своей способности делать дело как можно лучше. Разумеется, национальные традиции не сбросишь со счетов, но эти традиции — область довольно «топкая». Ясно одно — любой национальный тип представляет собой смешение темных и светлых сторон народной жизни, а их соотношение вряд ли доступно арифметической оценке. Тут все гораздо сложнее. Данный текст, посвященный анализу, которому подвергли крупнейшие ученые XVIII века одну из самых больных тем русской жизни, необыкновенно поучителен. И — познавателен. Он продолжает серию публикаций о «русских» немцах Гмелине, Миллере, Стеллере и не только уточняет некоторые исторические реалии (сверхлюбопытные!), но и позволяет еще ближе познакомиться с этими удивительными людьми, очистить их образы от шелухи устоявшихся «мнений». А такое знакомство всегда делает историю более прозрачной, близкой и, как следствие, более «живой».

А. М. Панфилов

В материалах участников академического отряда Второй Камчатской экспедиции (1733—1743) мы найдем немало любопытных свидетельств, касающихся образа жизни и нравов русского и аборигенного населения Сибири. С этими свидетельствами плодотворно работают историки. Для ряда научных комментариев к ним характерен один нюанс — время от времени утверждается, что иностранные участники экспедиции рассматривали Сибирь как область очень неблагоприятную в бытовом смысле. Приметы этого неблагоприятия, при этом называемые, — повальное пьянство, леность, безответственность, страсть к наживе и т. д. Мы не случайно поставили на первое место именно пьянство — разговоры о нем как о некоей русской национальной «константе» давно сильно отдают мифологией.

Попытаемся беспристрастно разобраться, о чем свидетельствовали знаменитые путешественники и как они интерпретировали собственные наблюдения.

Действительно, ученые (и не только иностранцы), попавшие в академический отряд великой экспедиции Беринга, немало писали о том, как производство и потребление алкогольных напитков влияли на жизнь тогдашних сибиряков. Выводы, к которым склонялись наблюдатели, довольно близки, но вместе с тем есть в них и важные отличия.

Прежде чем разбираться в этих выводах, следует отметить, что их нельзя назвать «ума холодными наблюдениями». Ведь делали их в той или иной степени «заинтересованные» зрители. Сами участники экспедиции вовсе не были убежденными трезвенниками. В багаже академического отряда всегда имелся изрядный запас алкогольных напитков — как водки, так и европейских вин (в особенности — рейнвейна). Впрочем, оговорка «в той или иной степени» — существенна. Путешественники были очень разными людьми — в том числе и в своем отношении к алкоголю. В немалой степени это объясняется особенностями их происхождения, культурным уровнем, статусом и индивидуальными чертами характеров.

Так, например, неофициальные руководители академического отряда Г. Ф. Миллер (его отец служил ректором гимназии) и И. Г. Гмелин (выходец из семьи потомственных врачей и аптекарей), с детства воспитывались в протестантских традициях умеренности и благочиния — поэтому не удивительна их приверженность к европейским винам. Но «приверженность» — это, пожалуй, сказано слишком сильно. Пили они, как правило, «по медицинским показаниям», то есть относились к алкоголю рационально, как и подобает протестантам. Рейнвейн эти ученые рассматривали как стимулирующее и лечебное средство. Первый сюжет, подтверждающий это, относится уже ко времени подготовки экспедиции. Миллер, рассказывая о том, что



его участие в экспедиции предопределила опасная болезнь Гмелина, вместо которого он и был включен в состав академического отряда, сообщает — однажды вечером, оставшись дома один, отчаявшийся Гмелин, по его собственным словам, выпил бутылку лучшего рейнского вина... и через несколько дней был на ногах. В этом рассказе своего коллеги Миллера все устраивает — за исключением одной вещи: он сомневался, что Гмелин ограничился единственной бутылкой.

Совсем другим человеком был адъютант Г. В. Стеллер. Его демократическое происхождение (отец ученого был кантором и органистом), неумный и даже авантюрный характер, общительность, неприхотливость в быту — все это вполне согласуется с его алкогольными пристрастиями. Гмелин, давая характеристику Стеллеру, сообщает, между прочим, и следующее: «Свою

жажду он удовлетворял, помимо пива, медом и водкой. Вина он не пил вовсе». Это свидетельство подтверждает сам Стеллер. В «Описании земли Камчатки» ученый признается: «Я не опьяняю себя на Камчатке рейнвейном оттого, что не могу его здесь достать, и он меня только огорчил бы...» Описывая разного рода неприятности, случившиеся с ним на пути из Якутска на Камчатку, он упоминает и утрату значительной части своего багажа при переправе через реку. Оценив потери в общей сложности приблизительно на 100 рублей, Стеллер «особенно горюет» «о 2½ ведрах двойной водки, что только одно вместе с доставкой стоит по здешним ценам 30 рублей». Спасти ему удалось «лишь одну бутылку, которую и выпил со своей свитой, чтобы распрощаться с разбитыми бутылками. Бутылку велел повесить на дерево как шаманский бубен».

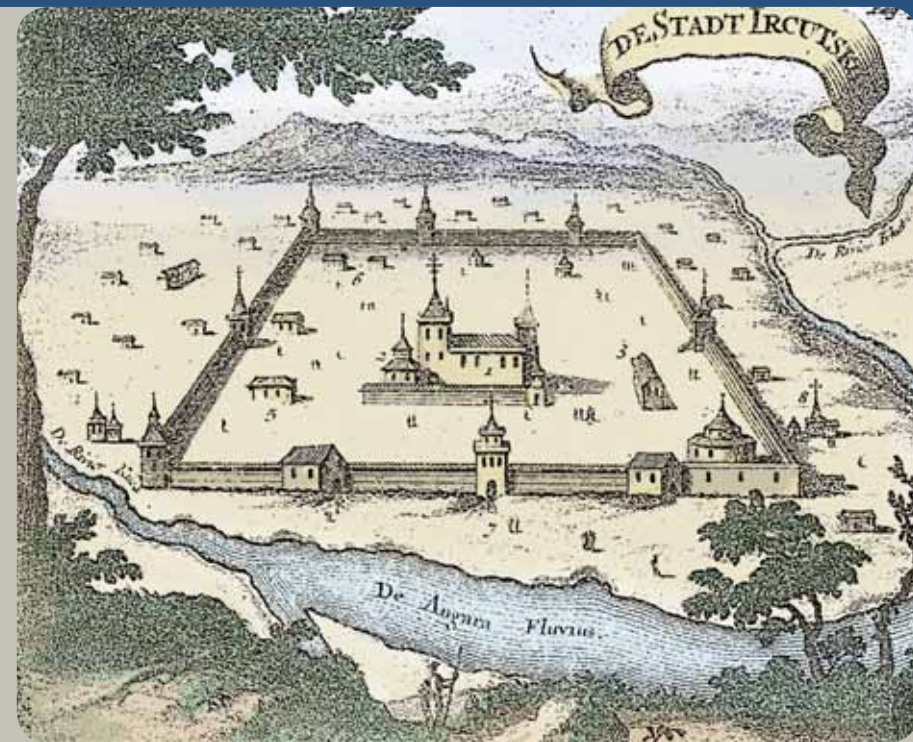
В нетрезвом состоянии Стеллер не всегда был адекватен и иногда ходил по лезвию ножа. Однажды он, например, объявил «слово и дело» против иркутского вице-губернатора Л. Ланга. Любопытно, что до этого ничто не предвещало грозы — вице-губернатор и ученый почти приятельствовали. Лангу стоило немалых усилий успокоить Стеллера и не дать ходу этому делу, чреватому большими неприятностями для обоих. Ради справедливости отметим, что алкогольные возлияния Стеллера, заметно усилившиеся в последний период его сибирского путешествия, не отразились на качестве его научных изысканий, неизменно получавших высокую оценку и у руководителей экспедиции, и у позднейших исследователей.

Адъютант И. Э. Фишер происходил примерно из той же среды, что и Стеллер, но характер его был совсем другим. Мелочный, подозрительный, грубый в обращении с подчиненными и невозможный в общении с равными ему по социальному статусу (будь то ученые или представители местных властей), он, похоже, топил свою мизантропию в водке. Оговоримся — информация о пьянстве Фишера поступала в основном от обиженных им казаков и солдат, то есть абсолютно достоверной считать ее нельзя. Доносы на Фишера не ограничивались обвинениями в пьянстве. Жаловались и на другое — например, на то, что в Якутском уезде он «жил блудно» с некоей «женкой», заставляя солдат стоять на карауле возле ее жилища, и не только сам незаконно «сидел вино», но и заставлял помогать ему в этом служилых.

Относительно алкогольных пристрастий вспомогательного персонала академического отряда (художники, геодезисты, студенты и др.) имеются лишь разрозненные данные, но, вероятнее всего, и в этой среде горячительные напитки имели большое хождение. В частно-

сти, студенты Василий Третьяков и Алексей Горланов еще до начала экспедиции отличились в так называемом «новогоднем» деле. 30 декабря 1732 года они, вместе с другими учениками московской Славяно-греко-латинской академии — кандидатами на участие в экспедиции, получили жалованье в размере двух рублей каждый. И началась гуляба. Вскоре в Академию наук поступило «доношение» двух учеников, один из которых, Лука Иванов, позже стал участником экспедиции, второй же, Андрей Поляков, так и не поехал в Сибирь — судя по всему, из-за проблем со здоровьем. Проблемы возникли не на пустом месте. В новогоднюю ночь Третьяков, Горланов и еще шесть учеников, «напившись пьяни, а неведомо где, и пришедши ночью, стали придираяться к Андрею Полякову, чтоб убить его, понеже прежде сего имели на него злобу, для того, что с ними компании не имеет. Того ради из них Григорей Абумов, шедши из дверей, показал ему кукиш, и оный Поляков оттолкнул кукиш. Они же, взяв за волосы, потащили и топтали, и глаз вышибли, и каблуками голову проломил». Попытавшийся утихомирить пьяных Л. Иванов отделался сравнительно легкими побоями.

Пьяные выходки вышеупомянутого Горланова продолжились и в экспедиции. В письме к Гмелину, отправленном в ноябре 1739 года из Иркутска, Стеллер рассказывает, что был в компании с вице-губернатором генерал-майором А. Ю. Бибиковым, когда неожиданно появился «по срочному делу» совершенно пьяный студент. Он не только отказался удалиться, как того потребовал Стеллер, но и уселся за накрытый стол (к трапезе еще никто не приступал) и как ни в чем не бывало начал выпивать и закусьевать. К счастью для Горланова, высокое начальство пребывало в хорошем расположении духа и с юмором отнеслось к этому неве-



Вид города Иркутска. Гравюра из кн.: Н. Витсен, «Северная и восточная Татария» (1692 г.)

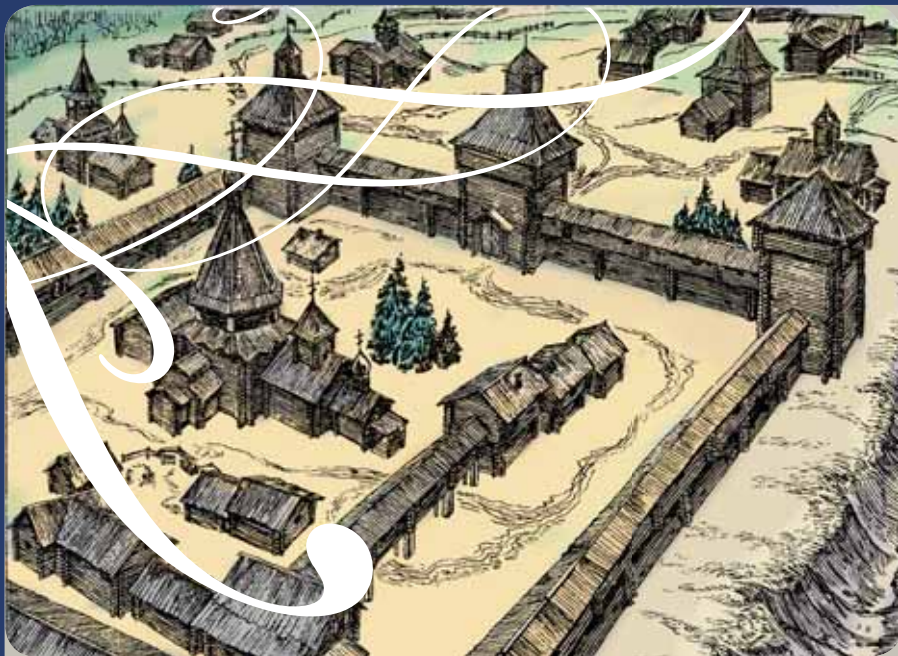
Русский лубок XVIII в.



роятному с точки зрения субординации поведению студента.

Миллер и Гмелин, как правило, стремились пресечь чрезмерные алкогольные «упражнения» подчиненных увещеваниями и наказаниями, не вынося сор из избы. Редким исключением из этого правила является обращение Миллера в Иркутскую провинциальную канцелярию с требованием задержать выдачу жалованья геодезисту Моисею Ушакову, погрязшему, по словам ученого, в лени, пьянстве и мотовстве. На это геодезист в «изумительном», по определению Гмелина, рапорте профессорам ответил весьма неординарно: «А что писано от вас, якобы я пьяница и мот, и во оном буду просить в Правительствующем Сенате, понеже пьяниц и мотов к делу Ея Императорскаго Величества не определяют...» Как видите, с «логикой» у Ушакова было все в порядке.

Впрочем, гораздо больше сведений касается пьянства среди солдат и казаков, сопровождавших академический отряд. Тут «господа академики» никого покрывать не собирались — доказательством тому служат десятки их обращений к местным и центральным властям. Речь в них идет и о вскрытии опечатанных почтовых отправок профессорам (а информация о ходе экспедиции и ее результатах была секретной) пьяным нарочным в кабаке, и об объявлении «слова и дела» в отношении ученых и их сотрудников, и о дебошах в кабаках, и о скотоложстве и т. д. Типичное оправдание протрезвевших — «был пьян, ничего не помню». Приведем хотя бы такой пример — 29 апреля 1736 года Гмелин сообщал в Иркутскую провинциальную канцелярию о том, что «обретающийся в команде нашей капрал Илья Вяткин кричал из-под клетки, где он от профессора



Город Мангазея. Реконструкция И. Резуна, художник А. Заплавный

Миллера за пьянство посажен был, на онаго профессора Миллера слово и дело». Капрал был допрошен при свидетелях: «И он, капрал Вяткин, в допросе сказал, что он на профессора Миллера ничего не знает, и слово и дело показал в пьянстве напрасно и ежели бы он, капрал Вяткин, не был пьян, то бы де он того не сказал». Капрала после этого вновь посадили под арест — со строгим запрещением давать арестованному водку и пиво.

В морских отрядах экспедиции существовали схожие проблемы. Цитируем письмо капитана М. Шпанберга к капитан-командору В. Берингу: «Имеющейся при мне шляпочного дела мастер Андрей Кузмин порученного ему дела править не может, и по ордерам моим и по словесным приказам ничего не исправляет, понеже всегда бывает пьян безмерно». Какова же была мера? Согласно нормам снабжения рядовых участников морских отрядов провиантом, ежемесячно каждому человеку выдавали по 16 чарок водки (объем чарки в то время равнялся примерно 130 мл,

то есть в среднем на один день приходилось около 68 мл водки) и по 60 кружек пива (объем кружки равнялся примерно 1,625 л, то есть в среднем на один день приходилось 3,2 л). Каковы были нормы потребления алкоголя для начальствующего состава (если они существовали), трудно сказать. Впрочем, оценить последние поможет следующий известный факт: в 1733 году годовое жалованье начальника Охотского порта состояло из 300 рублей, 100 четвертей хлеба и 100 ведер, то есть 1300 литров, водки. Оговоримся — эта водка предназначалась не только для личного потребления, но и для выполнения «представительских» функций.

Вышесказанное объясняет, почему «алкогольная» сфера тогдашней российской жизни вызвала столь пристальный интерес ученых академического отряда. И их наблюдения — какими бы субъективными они иногда ни казались — поистине бесценны.

Среди русского населения Сибири наиболее распространенными алкогольными напитками были водка

и пиво. Меньшей популярностью пользовался мед (он стоил в три раза дороже пива, а производился и продавался преимущественно на Урале и в Западной Сибири). Судя по собранным Миллером статистическим данным, на севере и северо-востоке Сибири к пиву тоже относились довольно скептически. В частности, из Мангазейской воеводской канцелярии ученому сообщали, что в год планировалось получать 366 рублей окладных сборов с продажи пива, но реальных поступлений практически не было, «понеже... за малоимением питухов оного пива в продажу исходит малое число». Европейские вина, в основном немецкого («рейнские») и французского («фряжские») происхождения, хотя и продавались во всех крупных сибирских городах, находили спрос лишь в самом узком кругу. Покупателей этих вин «вычислить» несложно — это были дворяне, чиновники и купцы.

На самом деле «вином» (или — «вином горячим») в документах того времени называли, прежде всего, хлебную водку. Секрет ее производства открыли не позднее XV века; уже с середины этого века началось ее товарное производство в Московском княжестве. Сырьем для производства водки обычно служили ржаная или овсяная мука, ржаной солод, хмель и дрожжи. Вино подразделялось на «простое» и «двойное». По поводу крепости тогдашних напитков существуют разные мнения. Одни исследователи утверждают, что «простое» вино той эпохи сравнимо в этом смысле с современной водкой, «двойное» же — со спиртом. Другие полагают, что крепость «простого» вина «блуждала» около 20 градусов, а «двойного» — около 40-ка (до 45-ти). При этом авторы исходят из того факта, что «простое» вино было продуктом однократной перегонки, а «двойное» — двукратной.

И вот тут необыкновенно важны свидетельства участников Второй

Камчатской экспедиции, не вполне подтверждающие подобные мнения. Согласно этим свидетельствам, «вино двойное» продавалось в розницу в очень незначительных объемах и скорее было «транспортной» формой алкоголя, так как требовало меньших затрат на перевозку. В пункте назначения «вино двойное» обычно разбавляли водой до крепости «простого». Так, в указе Сената об отправке В. Беринга во Вторую Камчатскую экспедицию относительно обеспечения водкой Охотска и Камчатки говорилось: «А вино хлебное на первой случай, покамест там хлеб заведут, привозить из Якуцка крепким двойным для удобства в провозе, как при первых временах из России в Сибирь вазивали. А привезши, на месте отваренною водою разводить и пробу против простого приводить».

Технологию производства водки подробно описал Гмелин — для знакомства с нею Миллер и Гмелин специально посетили казенный винокурный завод (каштак) в 6 верстах от Иркутска. Он сообщает: «Там имеется 37 перегонных кубов в одном ряду, и из каждого ведут две трубы, лежащие в желобе, по которому постоянно течет свежая вода... Водка течет по трубам в кадку, поставленную к каждой паре труб. Напротив перегонных кубов, но на более высоком месте, поставлены 8 деревянных бочек, в которых бродит солод. Каждая бочка вмещает 147 пудов солода, а заправляются одновременно две из них. В каждую бочку, через засыпанный туда солод, пускают столько кипятку, пока он на несколько футов не покрывает последний. Кипяток из большого котла пускают через желоб. Как это требует время года, добавляют из этого котла столько теплой воды, чтобы поддерживать брожение. Это длится обычно три дня. Когда брожение закончилось, добавляют холодной воды, пока бочки не заполняются почти до края. На четвертый день начинают перегонку и две бочки опустошаются за 24 часа. Водка не лучше и не крепче, чем молочная водка языческих народов и, вероятно, по этой причине ее называют аракой, как называют язычники свою водку. Через повторную перегонку из нее делают вино, или настоящую водку. Чтобы сделать крепкую водку (Spiritus vini rectificatus), ее еще раз перегоняют».

Как видим, «крепкая» водка («вино двойное») получалась в результате не двойной, а тройной перегонки. Гмелин со своими глубокими познаниями в химии усмотрел массу недостатков в описанной технологии: «Если бы улучшить устройство, водку можно было бы отпускать за половину нынешней цены, если только соблюсти определенную температуру брожения и не допускать, чтобы при перегонке так много улетучивалось. Я пошел в чулан, где хранится водка и где за пять минут можно потерять сознание из-за спиртных испарений. Кадки, куда стекает водка, имеют в диаметре по меньшей мере один фут и стоят открыто, и трубка

кончается на высоте в полфута над кадкой. В камере, куда стекает арака, все так же, хотя запах не так уж силен, можно все же видеть, как много улетучивается. А так как в гуще солода, в самом низу бочки, содержится больше всего спирту, было бы разумно этот осадок перегонять отдельно. Таким путем можно было бы сразу получить водку». Рекомендации ученого оказались неостребованными — в своих записках он сетует на это: «Но когда даешь такие советы, отвечают: “Как делали наши деды, так и мы продолжаем”».

Гуляки. Рисунок с коробки фабрики П. и А. Лукутиных, 1850-е гг.





Винокуренный завод в старинном селе Тельма под Иркутском. Новый паровик.
Из альбома фабрично-заводской промышленности Иркутской губернии 1895—1896 гг., изд. В. Ап. Белоголового

Процесс пивоварения — если не принимать во внимание примитивность оборудования — немногим отличался от современного. Пиво на большие расстояния не перевозили, поскольку гораздо дешевле было производить его на местах.

Так называемый «ставленный» мед обычно готовился с использованием меда, ягод, дрожжей и хмеля; по крепости он занимал промежуточное положение между пивом и «вином простым».

Помимо названных напитков, большое хождение имела домашняя брага — особенно в сибирских деревнях.

Государство жестко контролировало производство и продажу алкогольных напитков. Это не значит, что водку выгоняли исключительно на казенных винокурнях, но частных лиц, занятых в этой области, обязывали поставлять «продукт» в казну по подрядным ценам, которые обычно были вдвое (а то и втрое) ниже розничных. Саму продажу водки государство держало в своих руках. И немудрено — это была важнейшая статья дохода. Особенно в Сибири, где сам климат заставлял



жителей почти со страстью употреблять спиртные напитки.

Показательны собранные Миллером материалы о винной торговле в сибирских городах. Вот его данные по г. Новая Мангазея (Туруханск). «Вино» (то есть водку) везли в Мангазею из Енисейска, покупая по подрядной цене в 1 руб. 20 коп. за ведро, а продавали — по 3 руб. 2 коп. Динамика роста потребления водки иллюстрируется следующими цифрами: в 1736 году в Мангазею было прислано 894 ведра вина, в 1737 году — 934 ведра, в 1738 году — уже 1117 ведер. При этом в Мангазейской воеводской канцелярии жаловались ученому: «А годом оного вина и недостает». Несложный подсчет показывает, что доходы от продажи

водки составляли до 2 тыс. руб. в год. Для сравнения: суммарные подушные подати во всем Мангазейском уезде равнялись 934 руб. 30 коп. С «пьяными» доходами не могли сравниться даже таможенные сборы, включая пошлины с провозимых мехов (в 1738 году в Мангазее их было собрано на 291 руб. 48 коп.). О других податях и говорить нечего.

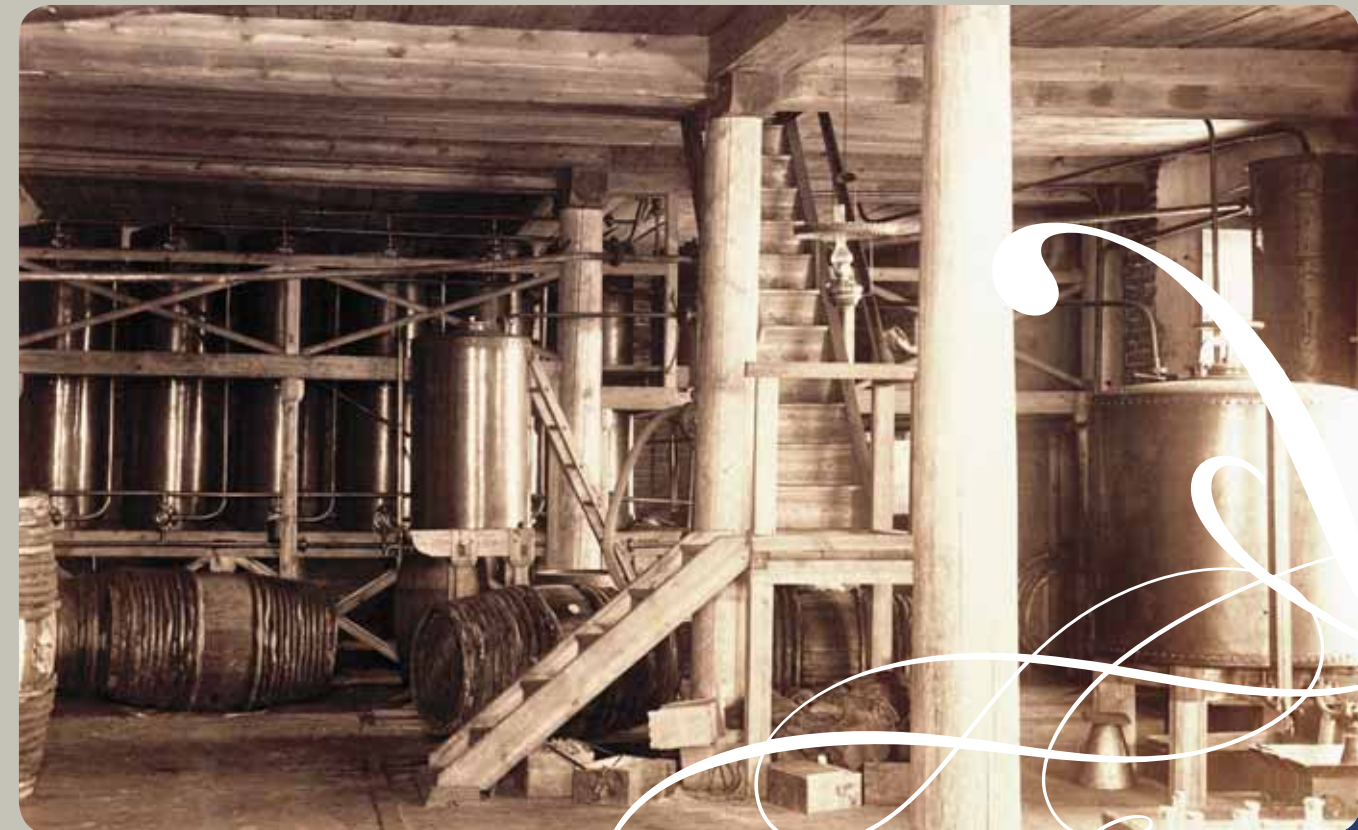
В розницу алкогольными напитками торговали в кабаках. Таковые имелись не только в городах, но и в острогах, слободах, селах, иногда даже деревнях. Возьмем Верхотурский уезд — в нем насчитывалось 15 кабаков: 3 — в городе, 5 — в слободах, 3 — в погостах, 2 — в селах, 1 — при медном заводе, 1 — в деревне. Кабаки можно было встретить на крупных трактах и на таможенных заставах — то есть там, где возникал спрос на горячительное. Такую «оборудованную» кабаком заставу Миллер посетил по дороге из Верхотурья в Туринск: «Застава и кабак... на переправе через предыдущую речку... — описывал ее ученый. — Здесь пребывают целовальник, назначаемый Верхотурской таможенной, а также один служивый и двое отставных солдат. Однако у них не имеется никакого особого жилья, а живут они в кабаке, которым также заведует целовальник». Как видим, роли в этом случае были распределены довольно специфически — это была скорее застава при кабаке, нежели кабак при заставе.

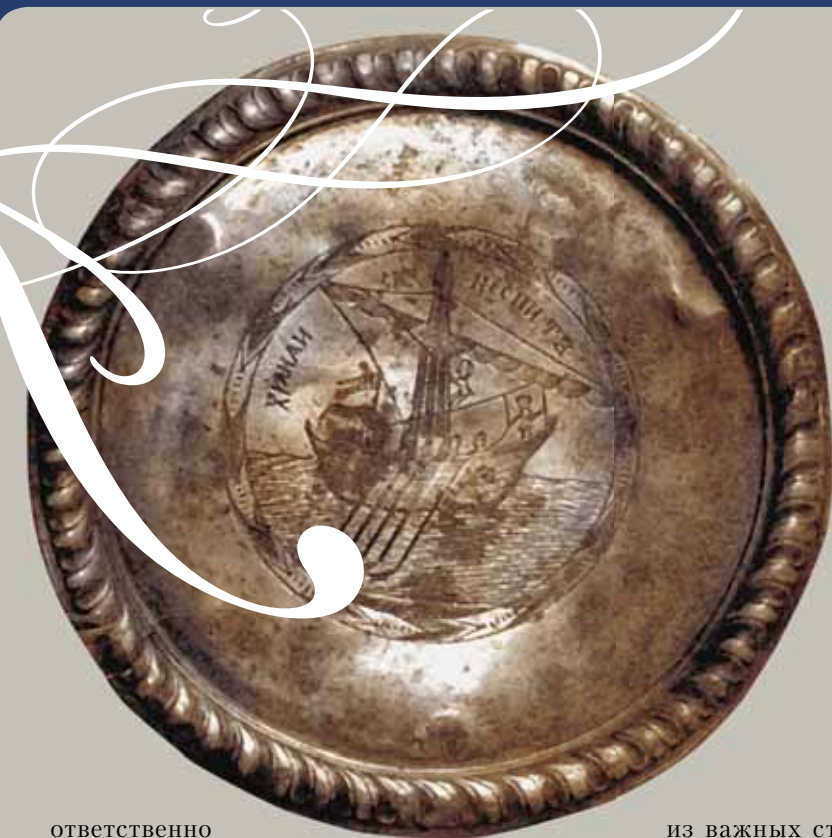
Если в населенном пункте было несколько кабаков, то они, как правило, получали «говорящие» прозвища. Миллер приводит такие прозвища тобольских бражных мест: Притыка, Австерия, Загуляев, Бражной, Кокуй и т.д. Типичный сибирский кабак представлял собой

отдельно стоящую избу с подвалом, где хранились алкогольные напитки. Площадь такого кабака равнялась 30—40 м² (в редких случаях — больше) — например, в Ирбитской слободе члены академического отряда обнаружили 2 сезонных, действующих во время ярмарок, кабака — площадью 32,2 м² и 40,8 м²; и один постоянный — площадью 72,6 м².

Казенными кабаками руководили кабацкие головы, а торговали в них целовальники (от — целовать крест при вступлении в должность). Выбирали этих «важных» персонажей из среды состоятельных посадских. Время работы кабаков обычно регламентировалось лишь в заводских районах, дабы не нарушить деятельности горных и металлургических предприятий. Из Екатеринбургской таможни Миллеру по этому пункту сообщали: «По заводам в воскресные и праздничные, и торжественные дни, когда казенной работы не бывает, в указные часы, а по острогам и слободам, селам и деревням, где есть кабаки, всегда безвозбранно». Подавать горячие закуски посетителям кабаков было запрещено — понятно, что веселье в таких условиях шло безудержное. В кабаке не только пили — это был и своего рода клуб, где посетители общались и играли в карты. Карточная игра тогда была практически неотделима от «пития» — со-

Тельминский винокуренный завод. Отделение очистки.
Из альб. фабрично-заводской промышленности Иркутской губернии 1895—1896 гг., изд. В. Ап. Белоголового





ответственно и в свидетельствах участников экспедиции словосочетания типа «пьют и играют» (или — «пропивают и проигрывают») становятся почти устойчивыми. К слову, монопольная продажа карт также была одной

из важных статей дохода государства: колода карт продавалась в среднем по 50 копеек, что было сопоставимо с подушной податью крестьянина (70 копеек в год). Несмотря на строжайшие запреты и наказания, в первой половине

XVIII века в Сибири активно функционировали нелегальные питейные заведения — корчмы. В корчмах собирался узкий круг лиц, которым корчмарь мог доверять. Постоянные посетители корчмы шли в нее из-за более низких цен на водку и большей свободы «действий». Тут играли не только в карты, но и в зернь, то есть кости, во многих корчмах к услугам посетителей были и продажные женщины.

Стоимость алкогольных напитков в розничной продаже не была величиной постоянной, сильно меняясь от региона к региону. Определяло эти ценовые «ножницы» множество факторов — это и различие издержек на закупку сырья, производство и доставку алкогольных напитков, и особенности сословного состава, и финансовые возможности основной «пьющей» массы. Вольготнее всего любители спиртного чувствовали себя в хлеботорговых уездах Урала и Западной Сибири; а вот, скажем, на северо-востоке Сибири их жизнь была труднее. Согласно миллеровским данным, в 1741 году подрядчики поставляли в Екатеринбург «вино простое» по 64 коп. за ведро, продавалось же оно в кабаках по 2 руб. 12 коп.; в Иркутске подрядная цена составляла 1 руб. 60 коп., продажная — 3 руб. 10 коп.; в Якутске это вино из Иркутского уезда продавалось уже по 4 руб., в Охотске — по 15 руб., а на Камчатке — иногда по 40 руб.».

Особо отметим одно важное обстоятельство. В нашей стране всякие преграды, воздвигаемые государством, всегда существовали словно для того, чтобы люди учились их «обходить». XVIII век — не исключение из этого правила. И в общей массе потребляемой тогда водки немалую долю составляла та, что производилась и продавалась нелегально частными лицами.

Сибирские казаки



Тобольск. Гравюра XVII в.

Тайное винокурение приносило огромные доходы и было распространено во всех уездах Сибири. О масштабах нелегального производства и сбыта водки можно судить по такому факту. Стеллер, прибывший в Якутск в конце мая 1740 года, был свидетелем появления в городе первых торговых судов. В своем дневнике он отметил: «8 июня в воскресенье погода было необычайно теплой и ясной, а для торговцев водкой из Иркутка — более чем пасмурной, так как лейтенанты Остяков и Лебедев по доносу работных людей с их дощаников изъяли у них водку на 2000 рублей, тайно доставленную на этих дощаниках из Иркутка». На следующий день якутский житель Борисов рассказал ученому о том, почему в Якутском ведомстве последние несколько лет составили около 40000 рублей. По его словам, целовальники сами пьянствовали и были не в состоянии организовать надлежащим образом продажу и учет казенной водки.

До 1740 года водку в Якутск поставляли по договорной цене подрядчики, однако вместе с официальным вином они везли и нелегальное (качеством — лучше) — причем втрое больше первого. Их торговля шла очень бойко — ведь если официальная водка шла в розницу по 8 рублей за ведро «вина двойного», то «подпольная» продавалась почти вдвое дешевле — по 4,5 рубля за ведро. Не удивительно, что при таком «раскладе» казенное вино оставалось нераспроданным. Кончилось все тем, что в 1740 году иркутским подрядчикам было отказано в поставках водки в Якутск. Однако нелегальная водка и после этого продолжала поступать. Стеллеровский информатор назвал три популярных «канала»: «1. Торговцы представляют посланными по требованию офицеров, которых никто не решается обидеть. 2. Они опускают бочки в озера поблизости от Якуцка, а также закапывают их в землю, а когда прибывают [в Якутск], то посылают туда якутов с одним из своих людей, чтобы они

светлой ночью доставили их. 3. Они изготавливают для бочек плоты, сверху, чтобы отвести любое подозрение, загружают их дровами, а при удобном случае водку утаскивают в дома или носят ее ушатами под видом доставки воды домой». Согласно тому же источнику, к поставкам нелегальной водки были причастны и некоторые члены Второй Камчатской экспедиции. Действовали они следующим образом: в Иркутске покупали казенную водку, для уменьшения объема перегоняли ее до максимально возможной крепости и везли под видом «вина простого» для собственных нужд. В Якутске же, Охотске или на Камчатке, где потребность в водке была велика и ее цена резко взлетала вверх, они разбавляли водку и продавали местным жителям.

Описанную ситуацию, разумеется, нельзя считать нормальной. Страдала экономика края, на глазах развращалось население. Понимали это не только посланники Петербургской Академии, но и вполне официальные лица.



Город Якутск. Рисунок из кн.: С. Ремезов «Чертежная книга Сибири», конец XVII в.

после этого — гораздо дороже, до 60 коп. за пуд. Это было естественным следствием того, что значительная часть зерна, производимого в верховьях Лены, теперь шла на изготовление «левой» водки. В связи с этим анонимный проект предлагал «стараться оные вредительные откупы перевести и всем запретить вино сидеть, опричь казенного, как здравле бывало».

Миллер также полагал, что существующая практика наносит огромный ущерб экономическим интересам государства, способствует коррупции и приводит к обнищанию жителей Сибири. Однако с рекомендациями автора проекта «О хлебе и вине» он не согласился. По мнению ученого, следовало не запретить откупа, а наоборот — предоставить право на производство водки всем желающим, взимая с них за это фиксированный налог. При таком развитии событий неизбежно бы упала цена водки. Стеллер был вполне солидарен с профессором: «Что касается поступлений от продажи водки, то я считаю, что проект проф. Мюллера представляет, конечно, гораздо больше выгод, чем продажа ее по высокой цене. При цене в 20 рублей за ведро частные лица прямо обворовывают казну, торгуя водкой либо тайно, либо, если им предоставлена к тому возможность, открыто в ларях рядом с церковью, непомерно от этого обогащаясь, вконец разоряя и без того склонное к пьянству население. Каждый житель мог бы подвергнуться обложению известным количеством пушнины, а взамен того могло бы быть предоставлено право свободного винокурения. Я полагаю, что это значительно понизило бы склонность населения к пьянству, да и казне дало бы заметную прибыль, особенно если распространить предлагаемое мероприятие и на тех ительменов, которые добровольно согласились бы на это». В удешевлении водки ученые усмотрели возможность па-

дения ее привлекательности — высокая стоимость водки, по мысли Стеллера, лишь добавляет ей «сладости» и престижности.

Свидетельства участников экспедиции показывают рост алкогольной «заразы» в направлении с запада на север. В Западной Сибири жило много старообрядцев, что в некотором смысле спасало ситуацию. Гмелин удивленно сообщает, что старообрядцы «полностью воздерживаются от водки». С не меньшим удивлением он констатирует, что в Енисейске на Рождество жители пили очень мало.

Совершенно иная картина открылась взорам путешественников в Восточной Сибири. При этом неким пограничным рубежом, за которым начинается царство водки, выступил тут Красноярск. Снова обратимся к свидетельствам язвительного Гмелина. Особенно досталось от него красноярским казакам, «единственным ремеслом» которых, по словам ученого, «является пьянство». Вместе с воеводой он наблюдал масленичные увеселения в селе Торгушино близ Красноярска — в частности, штурм казаками снежной крепости. Штурм оказался неудачным. «Отсюда легко можно заключить, — комментирует Гмелин, — какие при случае служивые совершили воинские дела — их бы превзошли любые крестьяне, никогда в жизни не носившие оружия». Удивляло его то, что особенно истово предавались пьянству горожане во время самых чтимых государственных и религиозных праздников. Он снова иронизирует, говоря о том, что все жители ведут себя так, словно усердно исполняют высочайший указ, запрещающий в эти дни трезвость. Гмелинские наблюдения подтверждает и Крашенинников, живописующий красноярскую масленицу: «Во время праздничное жители по гостям незваные ходят и черезчур упиваться любят, потому что иные из них одного дня почти весь город обходить не ленят-



Вид города Охотска в XIX в. Рисунок из кн.: «Народы России: Живописный альбом» (СПб., 1880)

Показателен в этом отношении проект «О хлебе и вине» неустановленного автора — этот проект в сентябре 1733 года был послан из Сената В. Берингу и начальнику Охотского порта Г.Г. Скорнякову-Писареву. Документ сообщал, что в последние шесть лет вся винная продажа в Охотске и на Камчатке была отдана на откуп частным лицам. Покупая в Якутске «вино простое» по цене 4 руб. за ведро, откупщики продавали его в Охотске по 15 руб., а в камчатских острогах — уже по 35–40 руб., приводя «в немалое разорение служилых и промышленных людей... потому что у них то и лекарство, что вино,

на всякие болезни служит, для того других забав нет».

Любопытно — в казенных якутских кабаках торговали по преимуществу не казенной, а нелегальной водкой, поставляемой откупщиками. Обеспечивала такую подмену круговая порука. Среди откупщиков преобладали «лутчие жители, дворяне и служилые», в подчинении которых находились служители застав, призванные как раз и пресекать описанные нарушения.

Рост производства подпольной водки привел к резкому подорожанию хлеба: если до введения откупов ржаная мука продавалась в Якутске по 7–10 коп. за пуд, то

ся и инде чарку вина, а инде стакан пива урвет, и хотя уже в такое состояние придет, что на ногах ходить не может, однакож лишь бы в котором доме шум услышал, понеже из того признают, что там попойка есть, хотя ползком ползет во двор, чтоб еще напиться».

Рассказ Гмелина о жителях Илимска еще более негативен. Отвратительные бытовые условия, изумившие его в этом городе, он объясняет следующим образом: «Люди там делают только одно: пьют и спят. Зачем им дома получше? Некоторые кормятся дичью, но вся их работа состоит в том, что они дела-

ют для маленьких зверей ловушки или для больших — ямы, а лисицам выбрасывают сулему; они слишком ленивы, чтобы пойти на охоту. Другие выжимают из тунгусов все, что им необходимо для поддержания жизни. Большинство из них служивые; но сами они службой почти не занимаются... в городе ничего не делают, как только посещают трактиры».

Миллер утверждал, что упадок некоторых городов Восточной Сибири во многом вызван именно пьянством. Вот что он, например, пишет о Нерчинске: «Также и то, что местное вино, несмотря на то,



У постоялого двора. Гравюра из кн.: Ш. д'Отрош, «Путешествие в Сибирь», (Т 1, Париж, 1768 г.)

что хлеб очень дешев, продается из казны по чрезмерно высокой цене, и это доводит до нищеты многих людей, которые в пьянстве не могут себя ограничить».

Путешествуя по Лене, ученые были поражены отменным физическим здоровьем местных крестьян, их трудолюбием и достатком. Но и тут болезненное пристрастие к алкоголю бросилось им в глаза. Этот парадокс отметил Гмелин: «Крестьяне на Лене не могут жаловаться на плохое существование... Каждая крестьянка имеет шелковые платья, и мужчины пьют по любому поводу».

Кстати, это свидетельство заметно «выбивается» из ряда ему подобных. Почему? Да потому, что обычно ученые ведут свой невеселый разговор об алкоголе, имея в виду одно-единственное сословие русских жителей Сибири — сословие служилых. Если и заходит речь об алкогольных «упражнениях» представителей других социальных групп, то вся она уместается в границах жанра, который в XVIII веке именовали «анекдотом». Вот типичный пример такого «анекдота» — он почерпнут из иркутского письма Стеллера, адресованного Миллеру: «От господина архиерея слышал веселую байку про то, как он на масленицу, будучи в подпитии, сам приказал запрягать лошадей в сани и через Байкал ехать в Селенгинский да уже на льду посреди озера оч-

нулся, спросил, где это он, и велел поворачивать обратно на Жилкино: болваны, мне все приснилось, с чего вы взяли, что мне надо задать пару».

Рассказы же о служилых менее всего «анекдотичны». Вместе с тем — при всей их критической направленности — эти свидетельства нельзя считать за «последнюю» характеристику всего сословия. Нравственные и деловые качества сибирских служилых путешествуя по Сибири ученые оценивают весьма высоко. Именно из их числа они предпочитали выбирать людей для выполнения серьезных заданий. Тот же Миллер признавался, что малограмотные служилые, ответственные за проведение метеорологических наблюдений, выполняли эту работу лучше, чем это смогли бы делать «полученные» люди. Забавный факт: однажды один из таких «метеорологов» сообщил профессорам, что не смог замерить температуру, так как ртуть в термометре замерзла. На это ему ответили: пить надо меньше. Но оказалось, что тот был прав — при очень низкой температуре воздуха ртуть действительно переходит в твердое состояние. Так простой казак стал автором серьезного научного открытия.

Сословие служилых не было однородным. Многие конкретные особенности носили «географический» характер. Так, например, в Западной Сибири служилые,

как правило, обзаводились собственным хозяйством, занимались скотоводством, земледелием, ремеслами, по образу жизни (это касается и традиций хмельного питья) мало отличаясь от крестьян и посадских. Не то было на северо-востоке Сибири. Именно тамошние казаки описывались участниками экспедиции в самых черных красках — упоминаются и акты неповиновения властям (вплоть до прямых бунтов), и злоупотребления служебным положением, и коррупция, и грабежи, и повальное пьянство. В числе причин, обусловивших эту «вольницу», назывались бесконтрольность служилых в удаленных острогах и зимовьях и само различие в их происхождении. Стеллер писал, что в служилые на северо-востоке Сибири обычно попадали «либо искатели приключений, либо бежавшие от правосудия, либо посланные сюда из России за совершение всевозможных неблагоприятных дел, для которых эти люди были самым подходящим элементом».

«Порче» нравов способствовало и то, что, по свидетельству Миллера, нередко служилый, совершивший преступление в Западной Сибири, получал в виде наказания ссылку в более восточные уезды, где он не только сохранял свой статус, но и назначался на более высокую должность. Таким образом, наказание превращалось в поощрение. О том же пишет и Стеллер: «Тут московские люди настолько повышаются в чинах, что тот, кто выехал из Москвы в качестве обыкновенного рядового, превращается в Тобольске уже в сержанта, в Томске — в прапорщика, а на Камчатке — в полковника, и никому нет никогда ни в чем запрета, что бы он не вздумал предпринять во вред стране и ее населению». Еще один источник, подтверждающий сказанное, — документы. Согласно им в отдельные периоды пополнение состава служилых Якутского уезда происходило преимущественно за счет ссыльных, промышленных и «гуляющих» людей, среди которых было немало маргиналов и попросту уголовников.

Пьянство в этой среде действительно процветало. Вот исполненная в одном-единственном цвете (черном!) стеллеровская характеристика якутского населения: «Жители очень хитрые, лживые, лукавые, мошенники, ленивые, пьяницы и ни мужчины, ни женщины не считаются с тем, что ведро водки обходится им в 8 рублей». В унисон с этой цитатой звучит сообщение в Сенат времен еще Первой Камчатской экспедиции (1725—1728), автором которого был сам Беринг: «Служилых людей счисляетца при Якуцку около тысячи человек, а имеетца над ними командующей — казацкой голова, сотники и пятидесятники. А хотя оные командующия над ними и есть, но токмо содержат не под страхом, понеже служилые пьянствуют и проигрывают не токмо что и своих пожитков, но временно бывает проигрывают жен своих и детей, что мы и сами видели при Камчатке. А когда отправляютца в нужной путь, тогда они платя

не имеют, також и ружье неисправно». Крашенинников, рассказывая об образе жизни камчатских служилых, пишет: «Прежде сего во всяком дворе бывала винная продажа: у кого вина бывало насижено, тот и сам пивал и других паивал за соболи, а когда того не ставало, то все пережахивали к другому и с тем, у которого пили. Таким образом мяхая рухлядь вся вокруг ходила, а как учреждена казенная продажа, то вся начала в казну доставаться целовальникам, ибо казаки, выпив вино у себя, со всем на кабаки приходят и пропиваются». Хотя винокурение по домам было запрещено, многие из жителей Камчатки, по наблюдениям Крашенинникова, крайне редко приходили в кабаки трезвыми, «а приходят с тем, чтоб допить, как им надобно, в меру, которая состоит в том, чтоб повалиться бесчувственну».

Столь впечатляющий разгул пьянства в этих местах был в те времена явлением сравнительно новым. До открытия морского пути на Камчатку через Охотское море служилым приходилось с боями прорываться сюда через земли воинственных коряков — разумеется, о провозе водки и речи не шло, хотя, как пишет Крашенинников, «их мучило, что вина достать им было негде».

Служилые люди. Литография XVII в.





Петропавловский порт

Выход сообразительные казаки все-таки нашли. Подобно ительменам, они (точнее — их холопы и ясачные) заготавливали на зиму большое количество ягод. Весной неиспользованная ягода часто закисло, и ее выбрасывали — пока не обнаружилось, что забродивший ягодный сок опьяняет. Вскоре казаки научились выгонять из закисшей ягоды даже водку. При неурожае ягод заквашивали вместе с ядрами кедровых орехов так называемую «сладкую траву», — забродивший сок заметно «пьянил». Подлинный переворот в использовании сладкой травы произвели в начале 1710-х годов большевские служилые Данило Черный и Алексей Малахов, для которых была «всякая нужда кроме безвинницы сносна» (Крашенинников). После серии «опытов» им удалось разработать наиболее рациональный способ выгонки вина из «сладкой травы» замоченной в воде. Из 2,5 пудов травы удавалось при этом получить до 1 ведра водки. Если водку перегоняли повторно, то напиток получался столь крепким, что им, по словам Крашенинникова, можно было «травить железо». Таким образом — замечает ироничный

Миллер — устранили последнее препятствие в деле освоения Камчатки. Широчайшее распространение винокурения из «сладкой травы» привело к тому, что цена на сырье резко взлетела — до 10 рублей и более за пуд. Для сравнения — годовое денежное жалованье камчатских казаков составляло 5 рублей. Естественно, при такой дороговизне дело не обошлось без грабежей — ведь ительмены тоже традиционно собирали «сладкую траву». «Как только устанавливается санный путь, — отмечает Стеллер, — это — первый доставляемый в остроги товар. Так как ительмены подвергаются со стороны напивавшихся казаков большим обидам и при опьянении даже жестоким побоям, то я обычно именую это растение кислой капустой».

«Научным» открытием камчатских казаков заинтересовались ученые. Миллер и Гмелин, отправляя Крашенинникова на Камчатку, дали ему подробную инструкцию из 89 пунктов, самый «объемный» из которых касался именно описания «сладкой травы» и методов выгонки из нее вина. При этом студенту предлагалось «самому небольшую пробу учинить и при этом

крепость вина первого пропуску описать». В результате появилась специальная работа Крашенинникова «О заготовлении сладкой травы и о сидении из нея вина».

Государство тоже не оставило своим вниманием казацкое изобретение. В Петербурге по проекту В. Беринга, составленному после Первой Камчатской экспедиции, планировали наладить на Камчатке масштабное производство казенного вина из «сладкой травы». В канун Второй Камчатской экспедиции Берингу вручили сенатский указ, в котором говорилось: «К тому ж вино сидеть на Камчатке ис тамошней слаткой травы и цену налагать не весьма тягостную, но умеренную, также и того надзирать, чтоб тамошней народ за необыкностию до смерти не опивались».

Крашенинниковские опыты повторил Стеллер. Оценивая качество водки из «сладкой травы», он, сам большой знаток и ценитель алкогольных напитков, пишет: «Эта водка обладает, между прочим, такими особенностями: она очень нежна, содержит в себе много кислоты и, следовательно, чрезвычайно вредна для здоровья, очень сгущает кровь, сильно на нее действует и придает ей черный цвет; водкою этой можно пользоваться для травления железа и гравирования на нем. Пьющие эту водку очень быстро хмелеют и, придя в состояние опьянения, становятся безумными и буйными; лица их при этом синеют, тот же, кто выпьет ее хотя бы немного чашек, мучается затем всю ночь самыми странными

и несуразными фантазиями и сновидениями, а на следующий день становится таким робким, опечаленным и беспокойным, как если бы он совершил величайшее преступление. Это состояние побуждает туземцев прибегать к новому опьянению, и случается — я это видел собственными глазами, — что они на следующий день вновь пьянеют от стакана холодной воды, что бывают не в силах устоять на ногах».

Относительно технологии производства водки Стеллер разъясняет: «Сама водка приготавливается следующим образом: на 2 пуда сладкой травы выливают 4 ведра теплой или тепловатой воды, кладут для брожения в сосуд либо остатки предшествующей дистилляции, отчего напиток получает, впрочем, неприятный запах или привкус, либо ягоды жимолости; от этого настой приобретает очень большую крепость, становится приятнее и дает большое количество водки; или же всю смесь ферментируют окисленную мукою; спустя 24 часа ее подвергают перегонке и получают тогда ведро водки». Наконец, ученый делится следующими забавными наблюдениями: «Остатки перегонки являются самым приятным для коров кормом, почему эти животные повсюду шатаются по улицам острога, посещая места, где гонят водку, и там обычно располагаясь. Таким образом, скотина часто вместо телохранителей сопровождает своих хозяев к кабакам, что неоднократно заставляло меня смеяться».

По дороге на Камчатку





Русский лубок XVIII в.

Кулачная борьба. Худ. Х.-Г. Гейслер, 1805 г.



Энтузиазм, порожденный изобретением камчатских казаков, не знал границ и побуждал к дальнейшим «испытаниям». В качестве водочного сырья пытались использовать даже закисшую рыбу. Тот же Стеллер пишет: «То, что рассказывается о якобы изготавливаемых из рыбы напитках и водке в Сибири, при проверке оказывается сущей ложью. Действительно, кое-кто пытался гнать водку из вонючей рыбы, но в результате получилась невкусная и зловонная слизь».

Попробуем резюмировать сказанное. Несомненно, описания алкогольного быта Сибири, сделанные участниками академического отряда Второй Камчатской экспедиции, иногда оставляют удручающее впечатление. Читая их, понимаешь, что «ничто не ново под луной», и те вещи, которые слишком хорошо знакомы нам — «пьяный бюджет», «теневая экономика», коррупция, «крышевание» и пр., — родились не сегодня; они «растут» из далекого прошлого. В среде современных исследователей отношение к свидетельствам ученых-путешественников XVIII века неоднозначно. Временами их резкий тон объясняют «национальным» высокомерием — дескать, немцы и не могли по-иному писать о русских. Эти объяснения вряд ли корректны. Во-первых, национальные «разборки» в науке вообще не слишком плодотворны, а во-вторых, наиболее яркие зарисовки пьянства сибиряков принадлежат перу как раз русского ученого — С. П. Крашенинникова.

Знакомясь с невеселыми картинками, набросанными участниками экспедиции, нужно понять, «услышать» их авторов. Ведь главное в этих рассказах — не негатив, а поиск путей выхода из сложившейся ситуации. Ученые не только живописуют пьянство, но и предлагают рекомендации по устранению недостатков. И эти рекомендации остаются актуальными по сию пору. Следует лишь вычленив из них рациональное зерно. То есть, по большому счету, тут мы имеем дело не с «чистой» наукой — впрочем, абсолютно «чистой» она, видимо, и не бывает никогда.

Современные российские ученые отдают дань старым академическим традициям.

На пароходе в путешествии по одному из маршрутов Второй Камчатской экспедиции (симпозиум «Три столетия академических исследований Югры: от Миллера до Штейница», октябрь 2005 г.)



Источники и литература

1. СПбФ АРАН. — Фонды 3, 21.
2. РГАДА. — Фонды 181, 199.
3. Вторая Камчатская экспедиция. Документы. 1730—1733. — Часть 1: Морские отряды. — М., 2001.
4. Георг Вильгельм Штеллер. Письма и документы. 1740. — М., 1998.
5. Зиннер Э.П. Сибирь в известиях западноевропейских путешественников и ученых XVIII в. — Иркутск, 1968.
6. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. — М.—Л., 1949.
7. С.П. Крашенинников в Сибири. Неопубликованные материалы. — М.—Л., 1966.
8. Стеллер Г.В. Описание земли Камчатки. — Петропавловск-Камчатский, 1999.
9. Georg Wilhelm Steller. Briefe und Dokumente. 1739. — Halle, 2001.
10. Georg Wilhelm Steller, Stepan Kra eninnikov, Johann Eberhard Fischer — Reisetageb cher 1735 bis 1743. — Halle, 2000.
11. Gmelin I.G. Reise durch Sibirien. — Th. 1—4. — G ttingen, 1752. — S. 323.
12. Johann Georg Gmelin. Expedition ins unbekannte Sibirien. — Ulm, 1999.

В публикации использованы иллюстрации из кн. И.Р. Такала «Веселие Руси»: История алкогольной проблемы в России» (СПб.: Издательство «Журнал «Нева»», 2002)



Версты в будущее

Предыстория ТРАССИБА

В. В. ЛАМИН

История проектов сооружения железных дорог в Сибири восходит к началу XIX в. Еще в 1806—1807 гг. талантливый горный инженер П. К. Фролов предлагал построить конные рельсовые пути заводского назначения длиной более 150 верст.

Хотя его проект не был принят, ему все же удалось проложить в 1809 г. первую в России чугунную дорогу на конной тяге. Дорога длиной в 2 версты функционировала более четверти века, соединяя Змеиногорский рудник и Карболихинский сереброплавильный завод. Необходимость постройки дороги он обосновывал следующим: при доставке руды и грузов гужевым транспортом для его обслуживания потребуются более 1000 человек, а при использовании «чугунки» — всего 2 человека, при двух лошадях.

Первые в России

Дорога Фролова, построенная на высоком по тем временам техническом уровне, опережала подобные сооружения в других странах на 10—15 лет. Местность, по которой она проходила, имела сложный рельеф — через р. Карболиху пришлось построить мост длиной 292 м, стоявший на 20 каменных опорах высотой 11 м, соединенных деревянными арками.

Однако рельсовая дорога на конной тяге не могла долго удовлетворять требованиям быстро развивающейся промышленности, конную тягу необходимо было заменить на

механическую. Решение было найдено в 1834 г. на Нижнетагильском заводе Демидовых. Отец и сын Черепановы создали первый отечественный паровоз, который по специально построенной дороге тянул состав в 3,3 тонны со скоростью до 15 верст в час. Через год им удалось построить второй паровоз с тягой до 16 тонн.

Возможность устройства железных дорог вызвала интерес у прогрессивно настроенной части сибирского купечества и промышленников, заинтересованных в появлении постоянных путей сообщения, независимых от времени года, взамен Московско-Сибирского тракта, путь по которому из Москвы до Николаевска-на-Амуре занимал около 11 месяцев. Активные сторонники широкого применения железных дорог на просторах Российской империи, уже с 1825 г. выступавшие с конкретными предложениями по их строительству, смогли заинтересовать Главное управление путей сообщения (ГУПС). Оно откомандировало в Англию на шесть месяцев профессора Корпуса инженеров путей сообщения Г. Ламе для изучения опыта работы железных дорог и анализа их коммерческого значения.

Однако, несмотря на заключение Ламе о превосходстве этого вида транспорта по скорости и экономичности, а также о высокой доходности



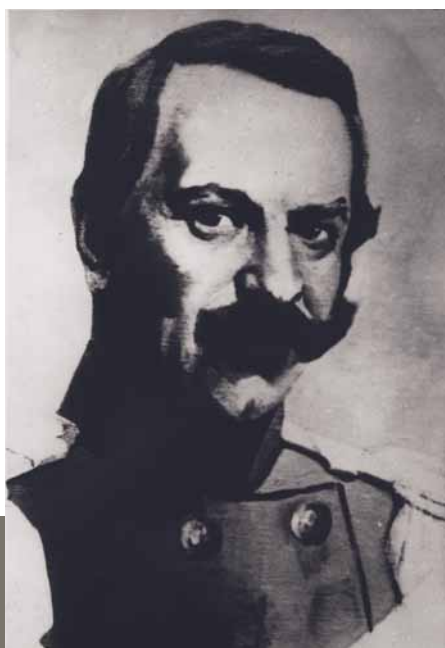
Русские умельцы отец и сын Ефим и Мирон Черепановы, механики-самоучки с демидовского Нижнетагильского завода, — создатели первого отечественного паровоза. Из архива ЗСЖД





Московско-Сибирский, или Великий тракт, обустройство которого, длившееся более ста лет, закончилось к середине XIX в. Он соединил европейскую часть России с Сибирью и Китаем — до этого основными транспортными путями были реки.
Из архива ЗСЖД

П. П. Мельников — первый российский министр путей сообщения (1862—1869), произведенный после отставки в инженер-генералы путей сообщения, профессор прикладной механики, почетный член Императорской С.-Петербургской Академии наук.
Из архива ЗСЖД



всех существовавших тогда железных дорог, предложения об их строительстве в России были отклонены. Основной аргумент ГУПС против железных дорог заключался в невозможности их содержания в условиях отечественного климата, особенно в зимнее время, а также их экономической невыгодности. О постройке же железных дорог в Сибири не могло быть и речи. Предпочтение в то время было отдано созданию единой водной магистрали от западных до восточных границ России путем соединения рек специальными каналами.

Не для выгоды, но ради увеселения

Горное ведомство, наиболее заинтересованное в положительном решении железнодорожного вопроса, пригласило в Россию крупного австрийского инженера, профессора Венского политехнического института Ф. А. Герстнера. Проездив по России три месяца, Герстнер воочию убедился в том, что дальнейшее экономическое развитие страны невозможно без организации постоянно действующей сети проезжих дорог, поскольку в России перевозилось очень много и на громадные расстояния, но при том — с черепашной скоростью, по дорогам, которые с трудом отвечали этому названию.

По возвращении в Петербург профессор подал на имя Николая I обстоятельную записку по итогам своих изысканий. Главный вывод состоял в том, что в мире нет другой такой страны, где железные дороги были бы

более выгодны, чем в России. Герстнер даже предложил построить железную дорогу Петербург—Москва, соединив затем Москву с основным водным путем страны, Волгой, линией Москва—Казань или Москва—Нижегород.

После долгих обсуждений, 15 апреля 1836 г. был наконец обнародован указ Николая I о строительстве железной дороги Петербург—Царское Село—Павловск. Стоит заметить, что строительство и эксплуатация этой дороги оставили заметный след в истории российского железнодорожного транспорта. Так, именно ей мы обязаны словом «вокзал», от английского «voksal», означавшего увеселительное заведение с садом и залами для вечеров и концертов в пригороде Лондона и не имевшего никакого отношения к транспорту. В Павловске такое заведение открылось при железной дороге, а затем его название распространилось на все пассажирские здания железнодорожных станций. На этой же станции новое значение приобрело и слово «вагон», также прижившееся в русском языке. «Вагонами» раньше назывались открытые повозки без крыши, составлявшие, наряду с каретами, дилижансами и шарабанами, первые поезда.

Официально дорога открылась 30 октября 1837 г., но полное сквозное движение по линии Петербург—Павловск началось с мая следующего года. Дорога с шириной колеи в 1829 мм (перешита под колею 1524 мм в 1903 г.), предназначалась исключительно для пассажирских перевозок, поэтому споры вокруг строительства железных дорог в стране на этом не прекратились. Противники строительства доказывали, что увеселительная линия не может дать точных данных об экономической эффективности железнодорожного транспорта и о возможных эксплуатационных расходах.

Без высочайшего указа ни шагу...

В 30-е гг. XIX в. (а не в 1857 г., как считалось ранее) за Уралом осознается необходимость соединения Сибири с европейской Россией железной дорогой. Инженер путей сообщения Н. И. Богданов, откомандированный в то время

в Восточную Сибирь для производства изысканий Кругобайкальской грунтовой дороги от Иркутска до Кяхты, в 1837 г. представил пояснительную записку, к которой прилагался проект постройки железной дороги от границы с Китаем до Нижегородской ярмарки. По мнению Богданова, дорога должна была способствовать развитию торговли и промышленности в Сибири.

Строительство предлагалось вести поэтапно. Первый пробный участок должен был связать 25-километровой дорогой Кяхту с Усть-Кяхтой, на втором этапе предлагалось продолжить дорогу по Кругобайкальскому и Сибирскому трактам до европейских губерний. По расчетам Богданова стоимость версты дороги могла составить около 100 тыс. руб. Проект остался без внимания со стороны правительства.

Окончательно судьба железных дорог в России определена после годовой командировки в Северную Америку П. П. Мельникова и Н. О. Крафта, профессоров Корпуса инженеров путей сообщения. По возвращении они были приглашены в Зимний дворец к императору. Результатом этой встречи стало подписание 1 февраля 1842 г. Николаем I высочайшего указа о сооружении железной дороги Петербург—Москва.

Вокзал Петербурго-Московской дороги в Москве.
Из архива ЗСЖД



Вокзал Петербурго-Московской дороги в Москве





Н. Н. Муравьев-Амурский — первый из сибирских губернаторов, кого заинтересовала идея строительства железной дороги на востоке России.
Худ. К. Е. Маковский

Не было бы счастья...

Неутешительные итоги Крымской войны 1853—1856 гг., ставшие для России неожиданностью, заставили правительство по-другому взглянуть на железнодорожное строительство. Отсутствие железных дорог к Черному морю не позволило своевременно снабжать армию всем необходимым. При помощи железнодорожного транспорта Россия могла бы перебросить в Крым армию численностью в сотни тысяч человек и не допустить взятия Севастополя.

Лишь 2 сентября 1854 г. Главное управление путей сообщений и публичных зданий издало приказ о начале изысканий по линии Москва—Харьков—Кременчуг—Елизаветград—Одесса. В октябре того же года приступили к изысканиям по линии Харьков—Феодосия, в феврале 1855 г. вышло предписание о прокладке трассы в Донбасс, а в июне — линии Генчиск—Симферополь—Бахчисарай—Севастополь. Однако, несмотря на осознание необходимости строительства железных дорог в стране, практического переворота в железнодорожном строительстве при Николае I не произошло.

Еще одним последствием поражения в Крымской войне стал запрет для России иметь военный флот на Черном море. На дальневосточной окраине России тоже было неблагоприятно: 17 августа 1854 г. союзная англо-французская эскадра вошла в Авачинскую бухту, а через два дня бомбардировала Петропавловский порт. Затем союзники предприняли попытки высадки десанта, но их атаки были отбиты — 27 августа эскадра ушла в море.



Работы каторжных на Уссурийской жел. дор. (постройка моста на р. Хоръ).

Изыскания и проектирование этой дороги производились на высоком профессиональном уровне. За время строительства с августа 1842 г. до ноября 1851 г. проявились талант и высокий профессионализм первых российских инженеров, строителей железных дорог. П. П. Мельников заимствовал у американцев опыт сооружения мостовых переходов и обосновал ширину российской железнодорожной колеи в 1524 м, как наиболее приемлемую для размещения механизмов паровоза, груза в вагонах и обеспечения лучшей устойчивости подвижного состава. Опыт сооружения и эксплуатации первой русской железнодорожной магистрали С.-Петербург—Москва доказал техническую возможность продолжения магистрали в Сибирь.

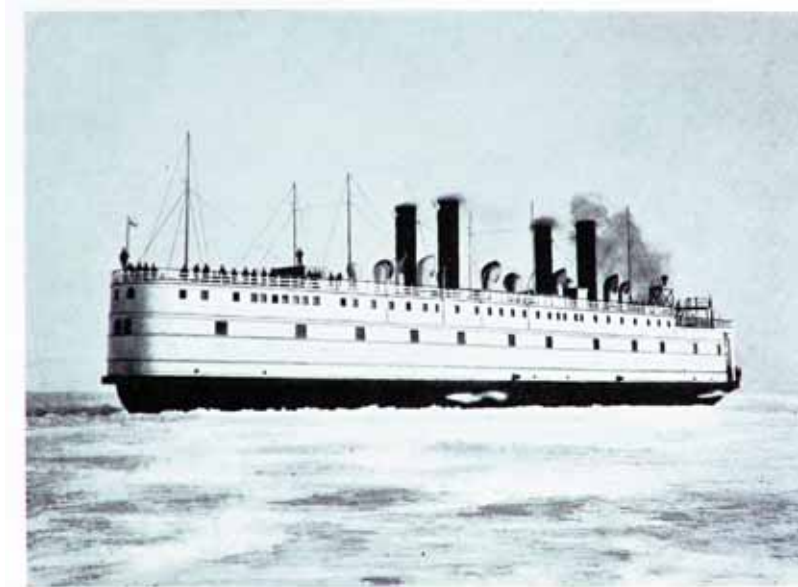
Несмотря на то, что вражеское нападение было отражено, такая уязвимость дальневосточных рубежей страны вынудила российское правительство принять решение о создании сильной Сибирской флотилии и морской базы в Николаевске-на-Амуре, куда в 1855 г. был перенесен порт из Петропавловска. Но для ее своевременного снабжения всем необходимым требовалось соединить Дальний Восток с центром России самым быстрым и безотказным путем — рельсовым.

«Железка» против шоссе

Первым из восточносибирских губернаторов интерес к строительству железной дороги на востоке страны проявил Н. Н. Муравьев-Амурский. Стремясь занять русскими войсками и заселить побережье Японского моря, он командировал в 1857 г.

военного инженера, штабс-капитана Д. И. Романова для проведения изысканий на территории между р. Амуром и побережьем Японского моря с целью избрать направление для проведения шоссейной дороги. Ознакомившись с местностью, Романов составил проект дороги от г. Софийска на правом берегу р. Амур до Александровского поста в заливе Де-Кастри, предложив простроить вместо шоссе железную дорогу. В проекте, изданном затем в виде брошюры, был приведен способ упрощенного железнодорожного строительства, применявшийся в Америке, благодаря которому можно было строить железные дороги в 2,5 раза дешевле, чем в России.

Романов писал, что Сибирь, так же как и Америка, вскоре будет прорезана железными дорогами по всем направлениям, и это дополнит «беспримечную систему водяных путей, которою природа так щедро наградила материк Северной Азии». Муравьев-Амурский, поддерживавший этот проект, в рапорте от 11 июля 1858 г. писал, что между Амуром и заливом Де-Кастри «по всем вероятностям будет проведена железная дорога, надобность в которой делается настоятельной в весьма непродолжительном времени».



Паромь-ледокол «Байкаль» (4200 тонн водоизмещения). Сооружен в 1896 г.

Иностранной экспансии — «нет»!

Первые слухи о железнодорожном строительстве в Сибири породили поток многочисленных обращений не только российских, но и зарубежных предпринимателей, стремившихся получить концессии на постройку. Одним из них стал посланник США в России П. М. Коллинз, совершавший поездку из Петербурга до устья Амура. В Чите он представил Муравьеву-Амурскому записку с предложением построить на американские деньги железную дорогу от Иркутска до Читы, с последующим продолжением ее до Тихоокеанского побережья. Муравьев-Амурский, дав проекту Коллинза положительную оценку, ходатайствовал перед министром путей сообщения о поддержке этого проекта.

Не желая передавать в руки иностранцев строительство дороги и небезосновательно опасаясь экспансии быстро развивающихся США на дальневосточные окраины Сибири, члены Сибирского Комитета отказали не только Коллинзу, но и всем другим иностранным авторам такого рода проектов. Муравьеву-Амурскому же «настоячиво рекомендовали» больше не обращаться с подобными ходатайствами. Ни для кого не было секретом, что прокладывание магистралей в богатом,





Прибытие первого сибирского поезда в Кургань (1893 г.)

ство проявило больший интерес лишь к предложениям о включении Западной Сибири в сеть железных дорог европейской части России. Первой из таких дорог, сооружение которой должно было оказать благотворное влияние на развитие торговли и промышленности, стала Уральская горнозаводская линия.

Идея о проведении этой дороги была впервые высказана в 1861 г. горным инженером В. Рашетом, который свыше 10 лет занимал должность управляющего Нижнетагильским горным округом и хорошо знал состояние горного дела на Урале. Он предложил соединить главные горные заводы Урала постоянными путями сообщения с системами рек Камы и Тобола на западе и востоке горнозаводского района. Для этого, по мнению Рашета, необходимо было построить железную дорогу от

но малообжитом крае с неразвитыми коммуникациями носило стратегический характер, поскольку обеспечивало господство над прилежащими территориями. При этом американские планы широкого проникновения на отдаленные рубежи России были хорошо известны русскому правительству. Кроме того, Россия и Америка соперничали на мировых рынках сельхозпродукции, и постройка Сибирской железной дороги могла серьезно усилить конкурентоспособность русских товаров.

Все указанные обстоятельства побуждали русское правительство уклоняться от прямого иностранного участия в сооружении железных дорог на Дальнем Востоке и Сибири, а позднее — и Транссиба. Вместе с тем подходы к железнодорожному строительству, разрабатываемые в то время, основывались на широком использовании зарубежного опыта. Тем более что на 1860 г. в России насчитывалось всего лишь 1590 км железных дорог, а в Западной Европе и Америке — 108 тыс. км, в том числе в США — 49 тыс. км.

Сибирские перспективы

После проекта Коллинза никаких более или менее значимых проектов железной дороги через всю Сибирь не возникало до 1880-х гг. В 1860-70-х гг. правитель-



Типичное станционное здание на Сибирской жел. дор.

г. Перми, через крупнейшие месторождения руд, до г. Тюмени. Он считал, что помимо роста производительности горных заводов дорога могла бы способствовать появлению в Сибири новых отраслей промышленности.

Автором следующего проекта Уральской линии стал полковник Е. Богданович. Он также оказался первым, чье предложение о строительстве дороги в Сибири

было поддержано. Изучив топографические условия для строительства железнодорожного пути, Богданович в 1868 г. представил свои соображения о пользе сооружения Уральской линии тогдашнему министру путей сообщения, генерал-лейтенанту П. П. Мельникову. Тот в свою очередь доложил о проекте полковника Александру II. И 10 апреля 1868 г. Богданович и генерал-губернатор Западной Сибири генерал-лейтенант А. Хрущов получили высочайшее разрешение на проведение изысканий и составление проекта железной дороги от села Ершовка (близ г. Сарапула) через Екатеринбург и Тюмень.

Еще один проект строительства железной дороги был подан на следующий год пермским городским головой И. Любимовым. На основе собственных изысканий он предлагал строить дорогу через г. Кунгур, Екатеринбург и Шадринск до Белозерской слободы, расположенной на р. Тобол, в 50 верстах севернее г. Кургана.

Все эти проекты стали достоянием общественности и широко обсуждались. Более того — в Нижнем Новгороде, Казани, Костроме, Вятке, Перми возникли «комитеты по железнодорожному вопросу» из особо избранных лиц.

Приблизь нас к Себе...

Идею строительства железной дороги особенно активно поддерживали сибирские купцы. Так, во всеподданнейшем адресе сибирского купечества, поднесенном в 1868 г., подчеркивалось: «Одни мы, Государь, сибирские Твои дети, далеки от Тебя, если не сердцем, то пространством. Большие мы от того терпим нужды. Богатства пашен почвы лежат без пользы для престола Твоего и нас. Даруй нам железную дорогу, приблизь нас к Себе, отчужденных от Тебя. Повели, чтоб Сибирь внедрилась воедино в едином государстве». Сибирякам вторили и жители Урала.

Однако у дороги были и противники, пугавшие болотами, дремучей тайгой с гнусом, страшными холодами, а также предположениями, что на шпалы изведут весь лес, а тот, что останется, сгорит от паровозных

искр. Так, тобольский губернатор А. Сологуб на запрос правительства о возможности строительства магистрали в Сибири сетовал на то, что «...наблюдение за сохранением порядков в крае делается невозможным, и, в заключение, затруднится надзор за политическими ссыльными вследствие облегчения побегов».

Тем не менее, количество сторонников строительства железных дорог в Сибири росло как на дрожжах. Так, в январе 1870 г. Общество содействия русской промышленности и торговле провело в большом зале Петербургской городской думы публичные обсуждения, вызвавшие новые споры в правительстве и обществе по вопросу железных дорог на Урале и в Сибири. И сколько их еще будет — ведь первый «камень» Сибирской железной дороги будет заложен лишь через 20 лет! Как говорят в России, скоро сказка сказывается, да не скоро дело делается...

В публикации использованы гравюры из Томского краеведческого музея, фотографии из альбома «Великий путь». Виды Сибири и Великой сибирской железной дороги. Выпуск I.» (Красноярск, 1899) и кн. «Сибирская железная дорога в ее прошлом и настоящем.» (С.-Петербург, 1903).



Автор и редакция благодарят Томский краеведческий музей и службу по связям с общественностью Западно-Сибирской железной дороги (Новосибирск) за предоставление иллюстративного материала

МНОГОЛИКИЕ Вихри

Завихрения — одна из основных форм движения текучей среды. Структура и размеры вихрей удивительно разнообразны. Они образуются в технических сооружениях, устройствах, механизмах, а также в реках, океанских течениях, атмосферных потоках... Вихри могут быть нашими помощниками, например, при создании подъемной тяги самолетов, но могут стать и врагами, порождая такие разрушительные явления огромной мощности, как ураганы и торнадо. У вихревых потоков много уникальных свойств...

Толковый словарь великорусского языка Даля дает много синонимов слова «вихрь», говорящих сами за себя: кружалка, заверть, ветроворот, столбовый ветер, даже чертова свадьба... Но для современного горожанина наиболее знакомым видом вихревого движения будет, пожалуй, водоворот, образующийся при вытекании воды из ванны.

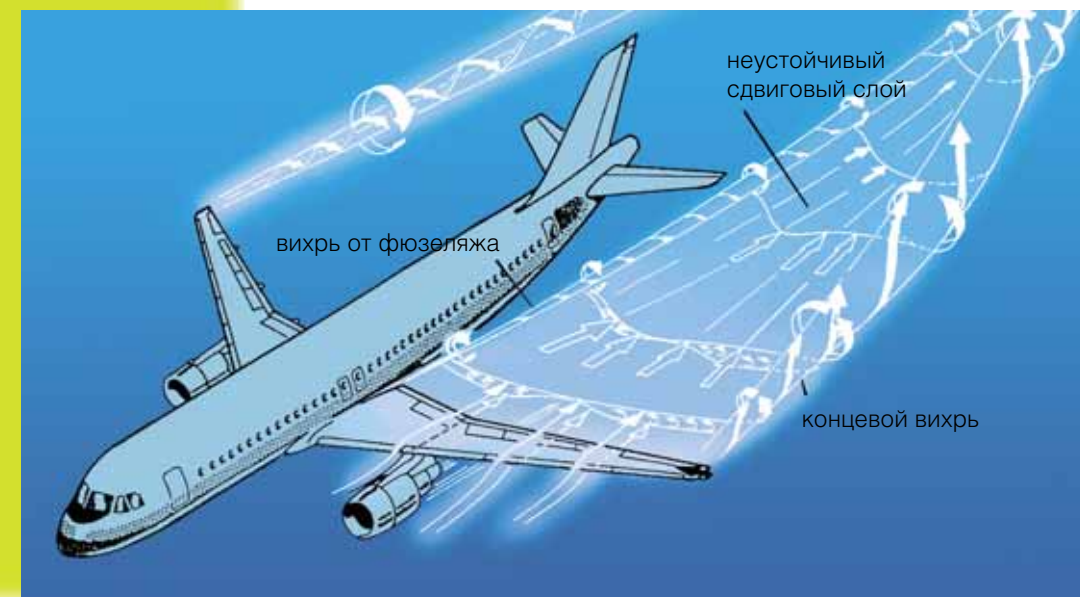
Иногда вихревые следы можно наблюдать и на небе — вслед за летящим реактивным самолетом. Образуются вихри при обтекании самолетного крыла воздушным потоком. Кроме того, струи из реактивных двигателей самолета, фюзеляжные вихри (образующиеся в месте соединения крыла с фюзеляжем) вместе с так называемым *неустойчивым сдвиговым слоем* воздуха за крылом закручиваются в довольно мощные концевые вихри. Последние можно увидеть, например, за самолетом сельскохозяйственной авиации, летящим на низкой высоте и распыляющим через устройство под крыльями инсектициды, служащие своеобразными «маркерами» вихревого движения.

Образование вихрей при полете самолета. Поскольку давление воздуха на верхней стороне самолетного крыла меньше, чем на нижней, струя воздуха при обтекании конца крыла образует малые концевые вихри, диаметр которых намного меньше их длины. Другая пара вихрей образуется в месте соединения крыла с фюзеляжем. Все они вместе со струями из реактивных двигателей и неустойчивым сдвиговым слоем за крылом закручиваются в концевые вихри (*Deutsche Aerospace, Airbus, 1996*)

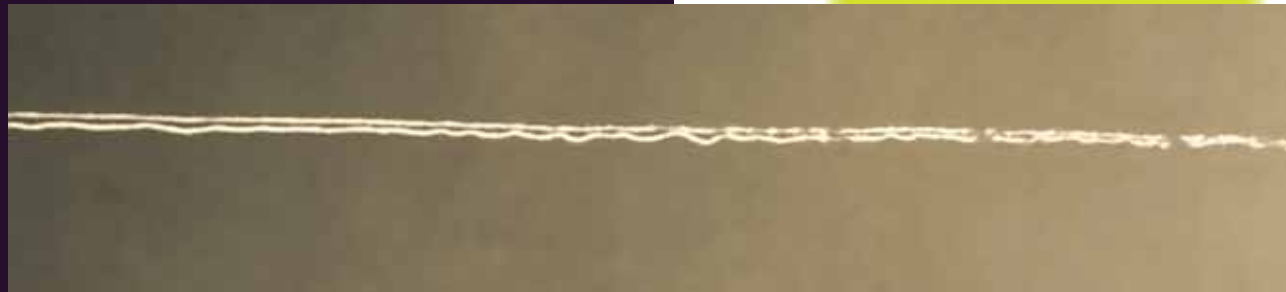
Концевые вихри от самолета сельскохозяйственной авиации, видные благодаря распыленным инсектицидам (*Welt am Sonntag, September 3, 2006*)



КРАУЗЕ Эгон — профессор, член Сената Немецкого аэрокосмического общества, директор (1973—1998 гг.) Аэродинамического института Рейн-Вестфальской технической высшей школы (RWTH) (Ахен, Германия). Лауреат премии Общества Макса Планка, почетный доктор Сибирского отделения РАН

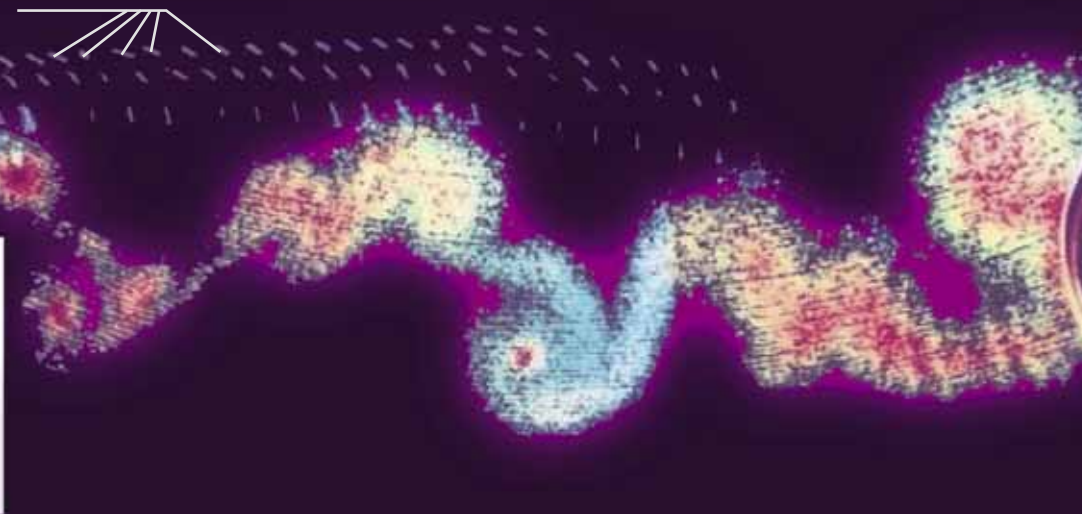


Следы от самолетов, летящих на большой высоте. След на нижнем снимке имеет вихревую структуру. Фото автора



Вихри за крылом аэробуса A340 (реактивного самолета с четырьмя двигателями) при заходе на посадку. Снимок сделан в направлении полета, конец крыла находится слева, фюзеляж — справа, гондолы двигателей находятся посередине. По расположению отображения шерстяных нитей можно заключить, что поток локально подходит к крылу. Вихри образуются на конце крыла и на стыке крыла и фюзеляжа, а также на кромке закрылков в посадочном положении. Снимок получен методом лазерной визуализации исследовательской командой фирмы Airbus (Deutsche Aerospace, Airbus, 1996)

отображение шерстяных нитей, прикрепленных к верхней стороне крыла



Следы в небе

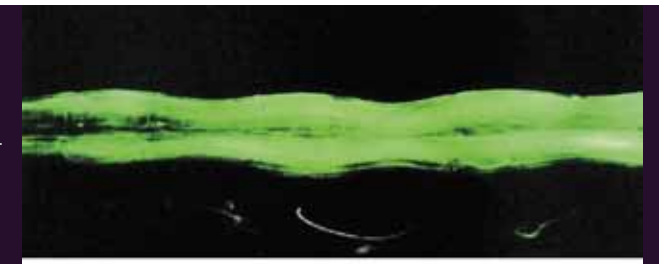
В вихревом следе, образующемся при обтекании воздушным потоком самолетного крыла, обычно присутствуют вихревые структуры неправильной формы, со множеством мелких вихрей с осями, ориентированными в направлении полета. Такие завихрения можно увидеть на снимках крыла самолета, полученных методом лазерной визуализации.

Концевые вихри за самолетом становятся видимыми благодаря отработанным газам реактивных двигателей при полете на крейсерской скорости на большой высоте. При сгорании в двигателе авиационного топлива (керосина) образуются двуокись углерода, водяной пар, окись азота и сажа. На тех высотах, где летают самолеты, температура низкая, поэтому пары воды конденсируются на частицах, образуя в результате различных физических процессов (замерзания, испарения, сублимации) микрокапли или микрокристаллы. Последние и вовлекаются в концевые вихри, в результате чего за самолетом появляются длинные белые конденсационные «шлейфы», которые часто можно видеть в ясном небе.

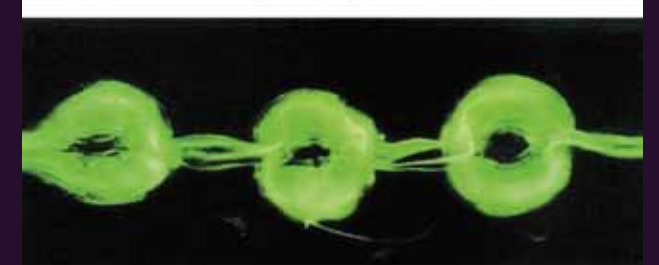
Как долго будет существовать такой след, зависит от многих факторов, главным образом от температуры, направления ветра и влажности воздуха. Иногда шлейф рассеивается через несколько минут, в некоторых же случаях срок его «жизни» достигает нескольких часов. Замечено также, что при определенных условиях конденсационный след распадается на структуры наподобие вихревых колец.

Это явление называют обычно *неустойчивостью Кроу* по имени американского ученого С. К. Кроу, который в 1970 г. впервые дал аналитическое описание начальных стадий этого процесса. Кроу показал, что взаимодействие двух концевых вихрей может приводить к усилению так называемых *возмущений вытеснения*, длина волны которых в осевом направлении обычно в несколько раз превосходит начальное расстояние между вихрями. Позднее, в 1977 г. французские исследователи Т. Льюк и С. Вильямсон исследовали это явление в лабораторном эксперименте, полностью подтвердив выводы Кроу.

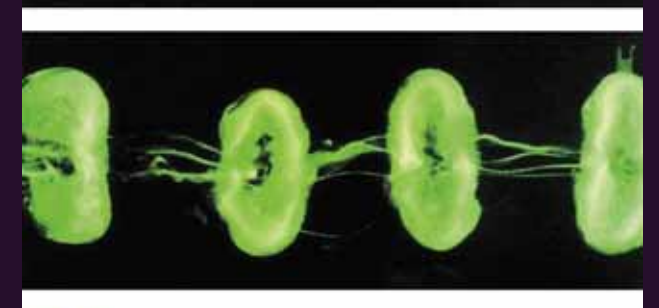
два исходных, слегка возмущенных, концевых вихря



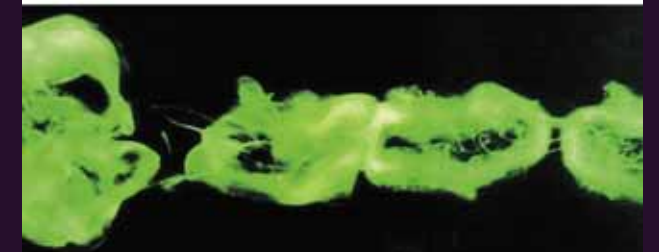
развитие вихревых колец, наклоненных к плоскости исходных концевых вихрей под углом около 45°



вихревые кольца изгибаются в овальные вихри, которые начинают вибрировать, периодически меняя направление главных осей

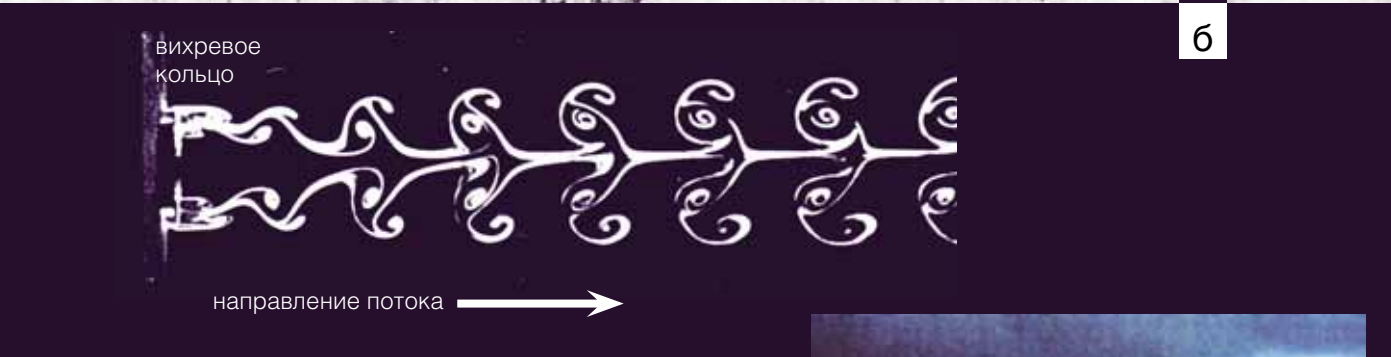
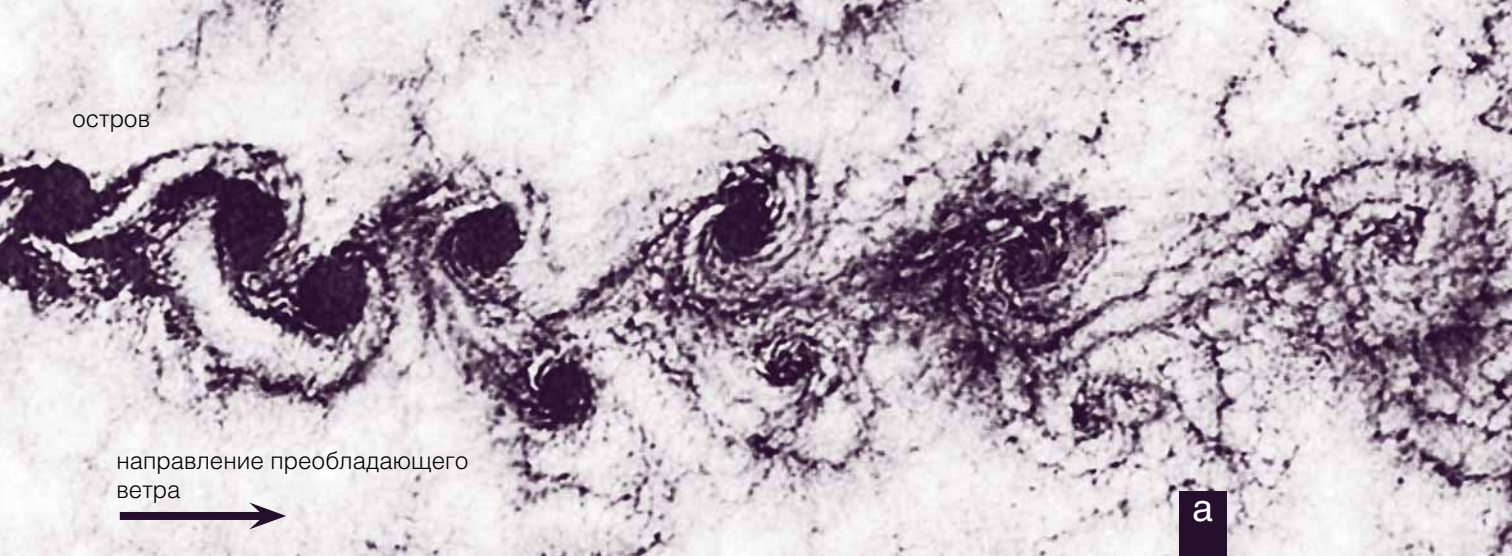


слияние кольцевых структур, которые начинают взаимодействовать друг с другом



Этапы взаимодействия типичных вихревых колец, приводящего к появлению вихревой структуры конденсационного следа самолетов.

Результаты лабораторного эксперимента (Th. Leweke, C.H.K. Williamson, Kluwer Academic Press, 1998)



Атмосферные вихри за островом Александр Селкирк близ Чили (а). Эта фотография, сделанная со спутника, попала во многие газеты. (USGS/EROS DATA CENTER, NASA) Структура наблюдавшихся там вихрей, визуализированная впрыскиванием флуоресцентного красителя и освещенная в меридиональной плоскости (б). (G. Erhardt, 1979)

Смерч недалеко от оз. Констанц на юго-западе Германии, 1988 г. (H. Mueller, 1988)



Вихрь фон Кармана

В атмосфере можно наблюдать и другие вихри. Например, с помощью спутника «Landsat 7» была обнаружена так называемая *вихревая дорожка Кармана* — больших размеров, с подветренной стороны острова Александр Селкирк (архипелаг Хуан Фернандес), расположенного в Тихом океане примерно в 800 км на запад от Чили.

Венгерский ученый Теодор фон Карман был первым, кто в 1911 г. обнаружил образование особой последовательности вихрей при обтекании кругового цилиндра, ось которого перпендикулярна встречному потоку, и описал условия ее формирования.

В случае острова Александр Селкирк хочется отметить два момента. Во-первых, эта последовательность встречных завихрений никогда не была бы открыта без применения спутниковых технологий. Во-вторых,

удивляет то, что такой небольшой скалистый остров (его площадь составляет около 44 км², а вершина самой большой горы высотой 1319 м легко достигает облаков) спровоцировал образование столь огромной вихревой дорожки.

Вихревые дорожки Кармана продолжают изучать до сих пор, поскольку периодические выбросы подобных вихрей бывают настолько мощными, что могут вызвать колебания (*резонанс*) в самых разных объектах. Подтверждением их опасности служит разрушение таким вихрем в 1940 г. моста Такома-Нэрроуз (штат Вашингтон, США).

У вихревых дорожек может быть невероятное множество конфигураций. Для подтверждения приведем лишь один пример, а именно — исследование Г. Эрхард-

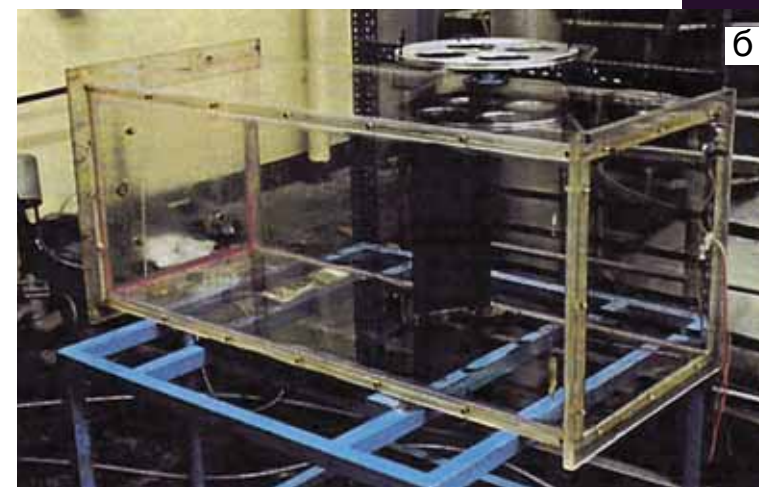
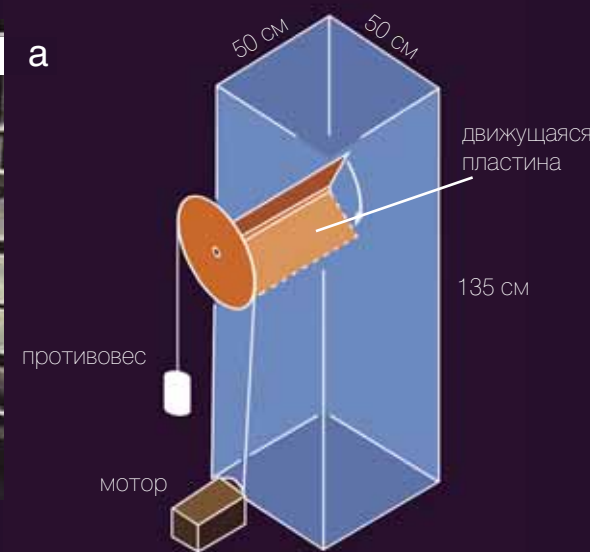


Схема экспериментальной установки для получения слабых вихрей (а). Эта же установка, но расположенная горизонтально (б) (Th. Leweke, 1990)



том из нашего Аэродинамического института (г. Ахен, Германия) в 1979 г. вихревых структур, образующихся при прохождении потока воздуха внутри и вокруг кольца, размещенного под прямым углом к потоку. Завихрения, идущие от внутреннего и внешнего краев такого кольца, представляют собой парные вихревые кольца, по форме похожие на облака на подветренной стороне острова Александр Селкирк. Очевидно, что размер кольца, измеряемый сантиметрами, совершенно не влияет на зарождение вихревой дорожки. Поэтому оно «работает» точно так же, как и остров, протяженность которого от одного побережья до другого составляет несколько километров.

Ураганы-убийцы

Хотя смерчи, циклоны, ураганы и торнадо не относятся непосредственно к предмету нашего рассмотрения, однако на определенном этапе своей «эволюции» они также могут рассматриваться как слабые вихри — до тех пор, пока не наберут силы и не перерастут в ураганы-убийцы, как их часто называют в США.

Небольшие воронкообразные облака время от времени образуются и над Европой — их можно видеть на снимках метеорологической службы. Воронки могут подниматься от земли до верхних слоев облаков. В слу-

чаях, когда они разрастаются до урагана, мощность ветра внутри них может превышать триллион ватт! Появляясь в последние годы все чаще, ураганы-убийцы могут опустошать огромные пространства, как это произошло в 2005 г. в США, где в результате «налета» урагана «Катрина» был затоплен Новый Орлеан.

Малые вихри можно моделировать в лабораторных условиях подобно уже упомянутой вихревой дорожке Кармана. Так, в 1990 г. Т. Саваде и Т. Льюку, ученым Аэродинамического института, удалось получить слабые вихри в форме зарождающихся вихревых структур в стеклянном контейнере квадратного поперечного сечения, наполненном водой и дополненным пластиной, закрепленной на стенке контейнера. Начальные вихри получали, поворачивая пластину на определенный угол. Для визуализации потока в воду впрыскивали разноцветные красители с заднего края пластины в шести осевых направлениях. Поток фотографировали в двух освещенных плоскостях — параллельной и перпендикулярной оси завихрения.

На серии снимков, сделанных в «профиль», благодаря красителям хорошо видны все этапы зарождения, развития и, наконец, разрушения первоначально «тонкого» вихря вследствие индуцированного им осевого движения. Разрушение структуры потока в центре



В начальной стадии вращения коричневый краситель образует конусы (вихри), а желто-зеленый краситель и красный — почти плоские диски прямо над задним краем пластины (обозначенным горизонтальной линией маленьких воздушных пузырьков)



Вследствие понижения давления в центре развивающегося завихрения, возникает движение вдоль оси по спирали от боковых стенок к середине, на что указывают коричневые конусы



Желто-зеленый конус почти достигает центральной линии. Рядом с плоскостями впрыска формируются малые вихри в виде небольших конусов



Желто-зеленый конус достигает центральной линии и поток отскакивает назад; вершины коричневого и желто-зеленого конусов также перемещаются к боковым стенкам. Противоток вызывает расширение конусов и разрушает их осевую симметрию



Вихрь разрушается вследствие индуцированного им осевого движения, движение потока становится почти полностью беспорядочным

Развитие вихрей в экспериментальной установке. Снимки сделаны в перпендикулярном (а) и параллельном (б) к оси вихря направлениях. Визуализация вихревого движения проведена впрыском разноцветных красителей: коричневого — у боковых стенок установки, желто-зеленого — ближе к центру, и красного — в центре.
(Th. Leweke, T. Sawada, Springer, Berlin, 1992)



Начальная стадия вращения



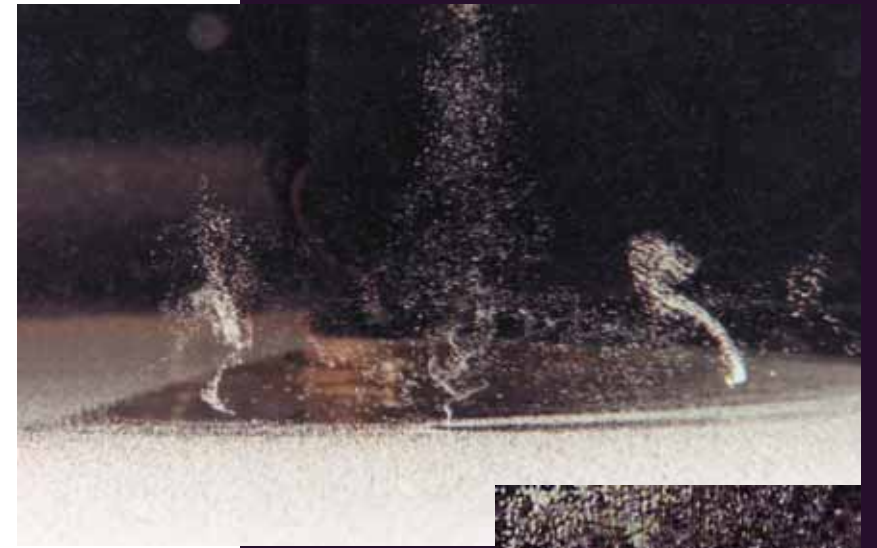
Внутреннее коричневое вихревое кольцо начинает сливаться с наружным желто-зеленым



Структура потока в центре завихрения разрушается

а б

С понижением давления в центре первоначального вихря (справа) кварцевый песок поднимается вверх. Ядро начального вихря слегка наклонено и изогнуто. За начальным завихрением следуют два других, значительно более слабых, вихря. Они, по-видимому, разрушаются, т. к. частички песка рассыпаются и больше не собираются в центре



завихрения отчетливо видно и на снимках, сделанных в «фас» — в плоскости, параллельной оси завихрения. Эти фотографии имеют некоторое сходство со снимками ураганов, сделанными со спутников или космических станций. Во второй серии экспериментов контейнер повернули на 90°, так что ось пластины заняла вертикальное положение. Верхнюю стенку контейнера сняли, а на дно насыпали кварцевый песок. Затем стали изучать образование завихрения в слое жидкости над песчаным дном — песок в этом случае исполнял роль красителя, маркера вихревого движения.

Когда пластина поворачивалась, в воде возникало начальное завихрение, как и в предыдущем эксперименте. Затем также образовывались два других вихря, значительно слабее первого. Хотя кварцевый песок довольно тяжелый, в центре вихрей давление настолько понижалось, что песок засасывался и поднимался вверх. При относительно высоких скоростях вращения пластины ядро завихрения на некотором расстоянии от дна оставалось практически прямолинейным, а выше — закручивалось в спираль. В последующих экспериментах удалось показать, что при сильном завихрении ядро вихря может замкнуться в полный круг.

Подобные деформации ядра вихря наблюдались и в природных условиях — в случае торнадо. Так, А. Б. С. Уиппл в своей книге «Ураган» привел серию снимков, демонстрирующих развитие торнадо 6 июля 1978 г. в Северной Дакоте (США). Воронкообразное ядро торнадо, видимое благодаря присутствию в нем водяного пара, имело практически форму круга, как и в описанном выше эксперименте.

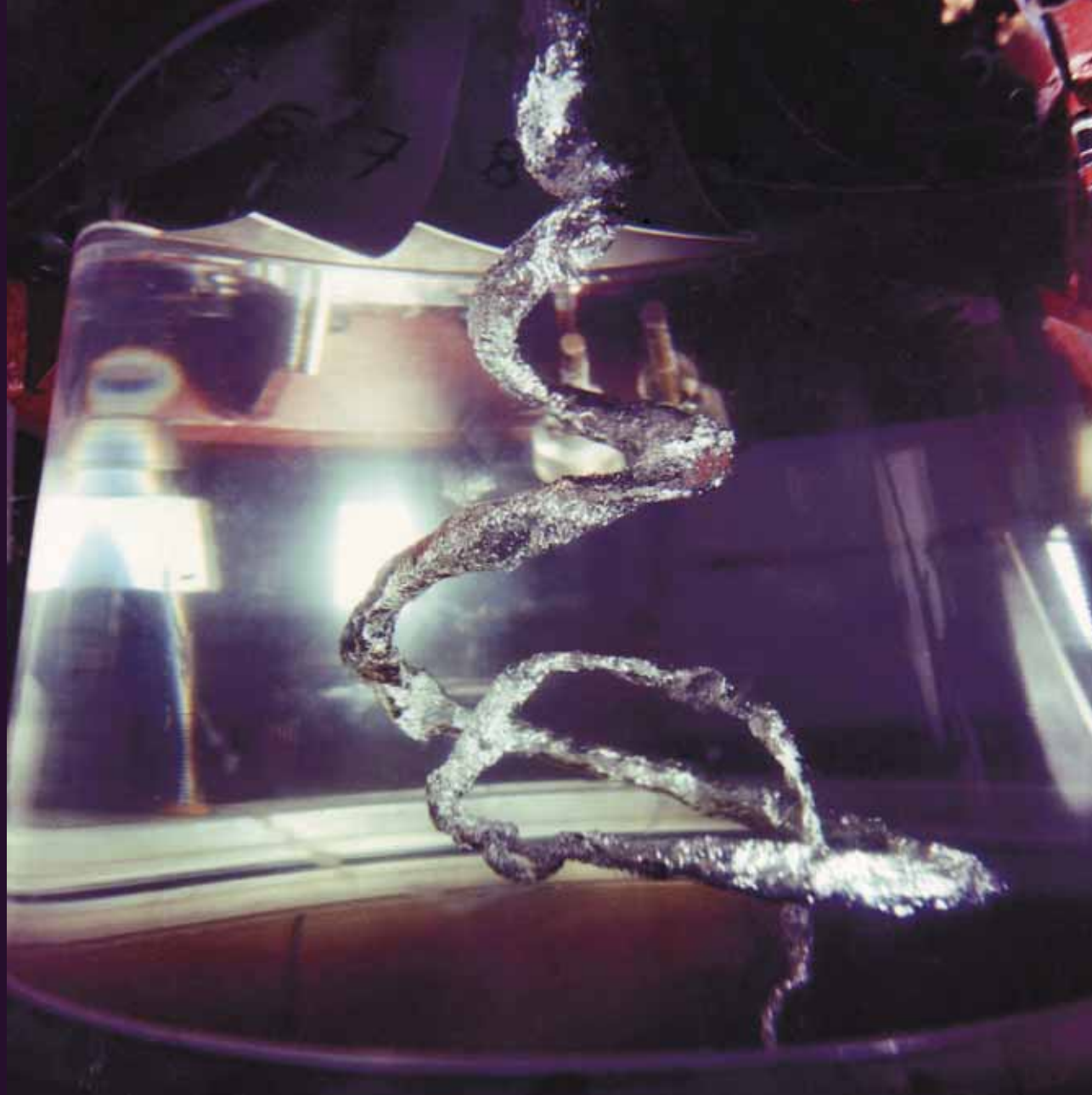


При высокой скорости вращения ядро первоначального вихря закручивается в спираль. Хотя изогнутая часть ядра расположена почти горизонтально, частички песка в нем не оседают



Ядро сильного завихрения может замыкаться в круг

Визуализация вихрей в экспериментальной установке с помощью песка (Th. Leweke, 1990)



Пузырек и спираль

Явление, при котором ядро вихря начинает отклоняться от прямой линии и закручиваться в спираль, называется *разрушением спиралевидного вихря*. Оно происходит и в потоках других типов, образующихся, например, в турбореактивных двигателях. Одним из примеров такого вихревого потока служит закрученный поток в модели диффузора гидротурбины, изученный швейцарскими учеными. Ядро завихрения, возникающего при прохождении диффузора, деформируется и приобретает форму спирали.

Еще один пример — закрученный поток в трубопроводе с переменным сечением, распад ядра которого вызывается ростом давления в трубопроводе в *аксиальном* (осевом) направлении. Нужно отметить, что предшественником разрушения спиралевидного вих-

Ядро закрученного потока в модели диффузора гидротурбины — пример внутреннего вихревого потока. Поток входит в прозрачный диффузор в верхней части и выходит в нижней части. Ядро завихрения визуализируется пузырьками растворенного в воде воздуха. Ядро деформируется и приобретает форму спирали в результате изменения давления в потоке в аксиальном и радиальном направлениях — типичная картина разрушения спиралевидного вихря. Фотография предоставлена Институтом гидравлических машин и механики жидкости Федеральной Политехнической школы в Лозанне (Швейцария)

Закрученный поток в трубопроводе с переменным поперечным сечением. Поток в трубопроводе идет слева направо, его ось направлена горизонтально. Краситель, используемый для визуализации, впрыскивается выше по потоку через тонкую трубочку, установленную на оси трубопровода (M. Breuer, 1991)

ря часто является распад другого типа — *пузырьковый*. Именно такой «пузырек» и образуется в потоке жидкости в трубопроводе. Сначала появляется вихревая структура в форме парных колец, одно из которых расположено по ходу потока от пузырька («вниз по течению»), а другое — выше по потоку. Давление в трубопроводе растет до тех пор, пока в нем не сформируется *точка торможения*, ниже которой жидкость начинает двигаться в обратном направлении.

Перед началом разрушения пузырьрек становится почти симметричным относительно своей оси, но затем завихрение, расположенное ниже по потоку, отрывается и движется вниз «по течению». Симметрия утрачивается, вихревое кольцо, покидая зону высокого давления, расположенную ниже точки торможения потока, разрушается. Ядро завихрения закручивается в спираль вокруг зоны высокого давления — поток начинает разрушаться по спиралевидному типу. Интересно, что хотя такие потоки в трубах активно изучались в последние двадцать лет, условия, определяющие переход от пузырькового распада к спиральному, до сих пор остаются неизвестными.

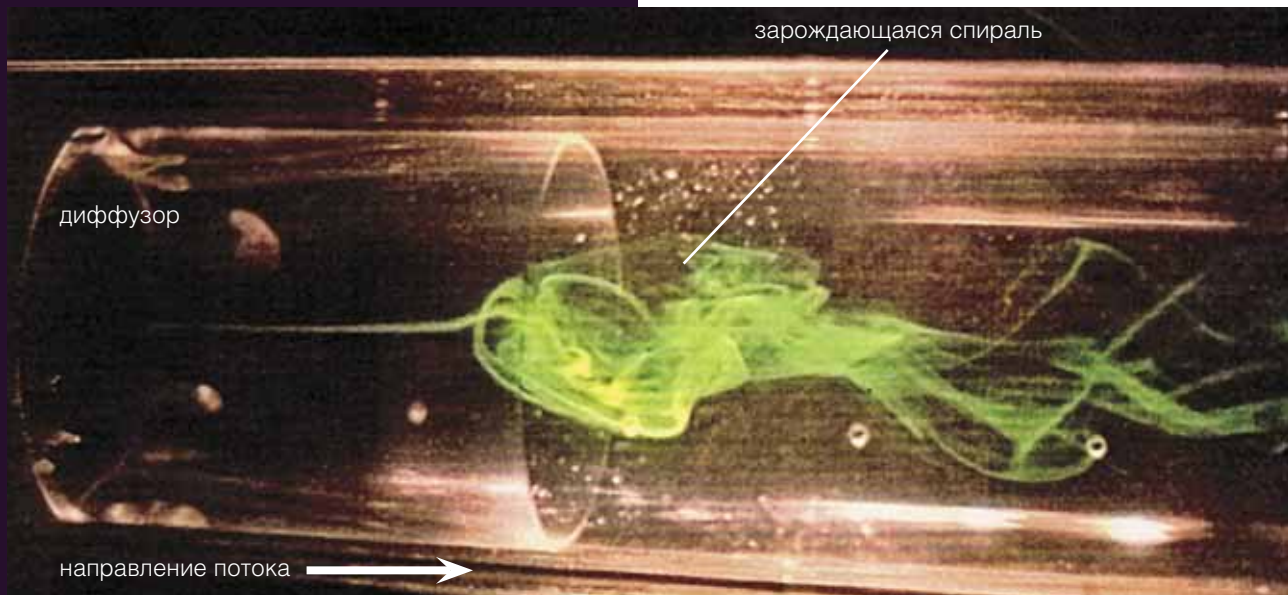
В 1978 г. американцы Дж. Х. Фэллер и С. Лейбович провели этот эксперимент таким образом, что и пузырь, и вихревое кольцо ста-



Пузырьковый тип разрушения вихря, предшествующий разрушению спиралевидного вихря. В начале процесса формируется вихревая структура в форме парных колец, из которых визуализируется только второе, расположенное по ходу потока от пузырька



После потери симметричности ядро вихря закручивается в спираль — поток начинает распадаться по спиральному типу



Переходная фаза в развитии вихревой структуры в трубопроводе с переменным сечением, полученная в эксперименте Фэлера-Лейбовича. Поток воды тормозится диффузором, сделанным из плексигласа и вставленным в трубу. Зеленый флуоресцентный краситель впрыскивается через трубку, ориентированную вдоль осевой линии трубопровода. Парная вихревая структура сразу после точки торможения (которая формируется поблизости от выхода из диффузора) «сбрасывает» второе кольцо, и спираль начинает зарождаться в следе пузыря (M. Breuer, 1991)

бильно оставались в потоке на одном и том же месте. И прошло почти двадцать лет, прежде чем такую парную конфигурацию вихревого распада удалось смоделировать с помощью мощного компьютера — получив численное решение уравнения Навье-Стокса, описывающего течение вязкой жидкости. Повторил эксперимент Фэлера-Лейбовича М. Ваймер из Аэродинамического института, который показал, что пузырь после образования точки торможения на оси завихрения потока сначала немного «мигрирует» вверх по течению, а потом держится на постоянном месте.

Самолеты и космолеты

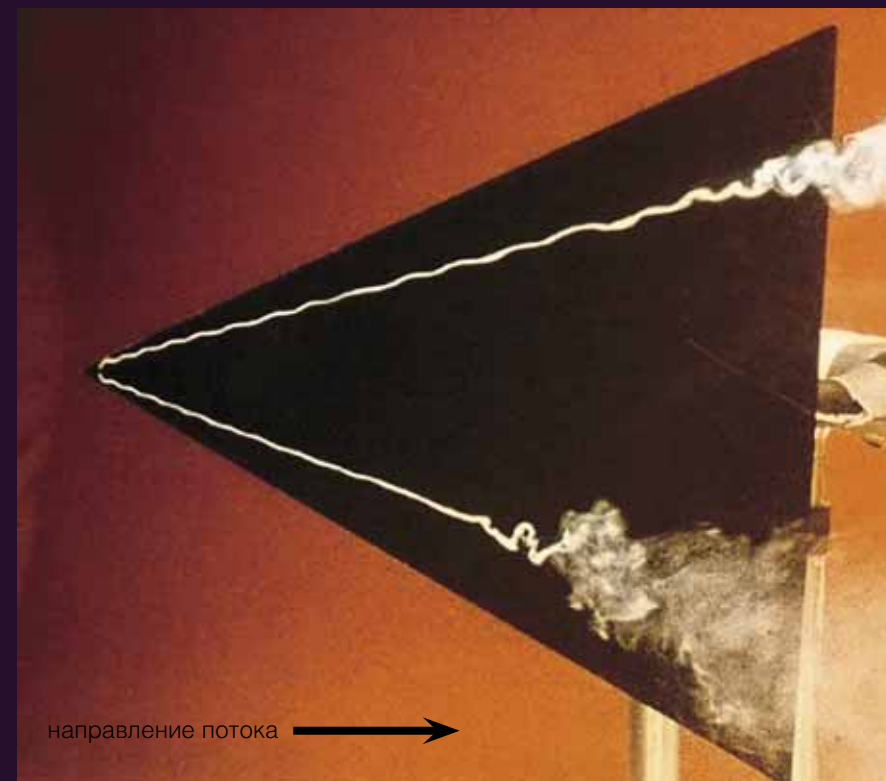
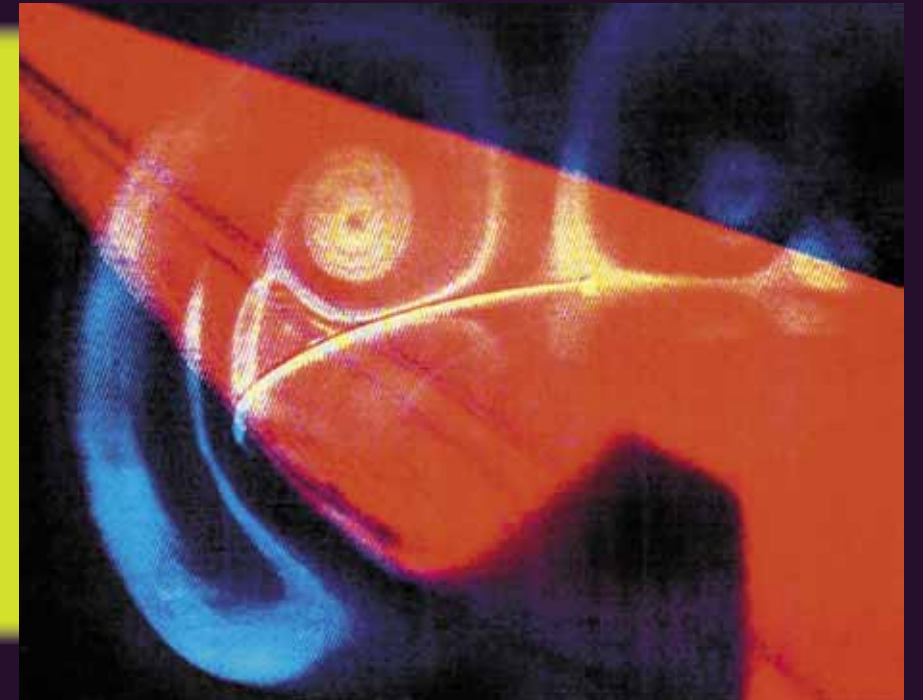
Разрушение вихрей может происходить и на крыльях сверхзвуковых самолетов и транспортных космических кораблей, обычно имеющих треугольную форму. Такие крылья генерируют на подветренной стороне вихревые системы — благодаря этому их подъемная сила увеличивается при больших углах атаки (наклоне крыла к линии полета). Такая вихревая система состоит из большого первичного вихря, двух-трех более мелких вторичных вихрей, вихрей третьего (а иногда и четвертого) порядка, а также сдвигового слоя. Благодаря низкому давлению в ядре первичного вихря подъемная сила крыла увеличивается нелинейно.

При больших углах атаки давление в основном потоке на верхней стороне крыла растет по направлению к его задней кромке — это влияет на структуру вихревого движения. И в случае, если давление начинает быстро расти, первичный вихрь распадается.



Численное моделирование эксперимента Фэлера-Лейбовича (M. Weimer, 1997)

Вихри на подветренной стороне крыла модели гиперзвукового самолета, находящейся под определенным углом атаки в аэродинамической трубе малых скоростей. Визуализация «лазерным ножом». Белым цветом окрашены большой первичный вихрь и другие вихри меньшего размера. Узкие темные области на поверхности показывают места отрыва и присоединения поперечного потока, вызванного вихрями (R. Staufenbiehl, 1996)



Вихри на подветренной стороне модели треугольного крыла, помещенной в гидродинамическую трубу под углом бокового скольжения. Ядра вихрей визуализируются впрыскиванием белого красителя через два маленьких отверстия в вершине крыла. Распространение и диффузия белого красителя в окружающую воду указывают на разрушение вихрей (A. Stromberg, W. Limberg, 1993).

В. Лимберг и А. Штромберг, исследователи из Аэродинамического института, на модели транспортной космической системы с использованием метода визуализации потока показали, что режимы распада вихрей, описанные для закрученных потоках в трубах, «работают» и на подветренной стороне подобных космолетов.

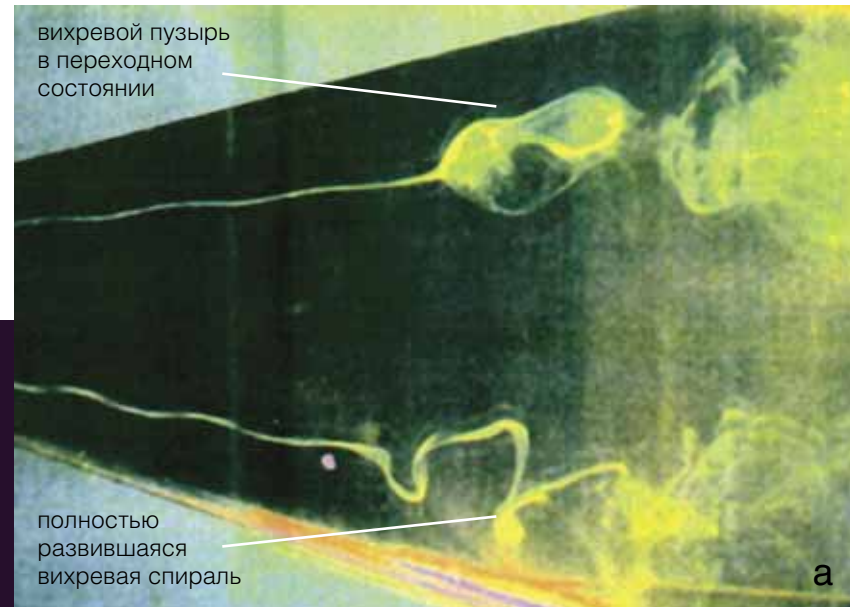
«Ветвистые» трубы

Первые работы по расчетам характеристик течения жидкости в трубах были опубликованы более 150 лет назад Г. Хагеном и Дж. Пуайзелем. Казалось бы, что с тех пор почти все, что происходит в этих потоках, включая образование вихревых структур, можно было

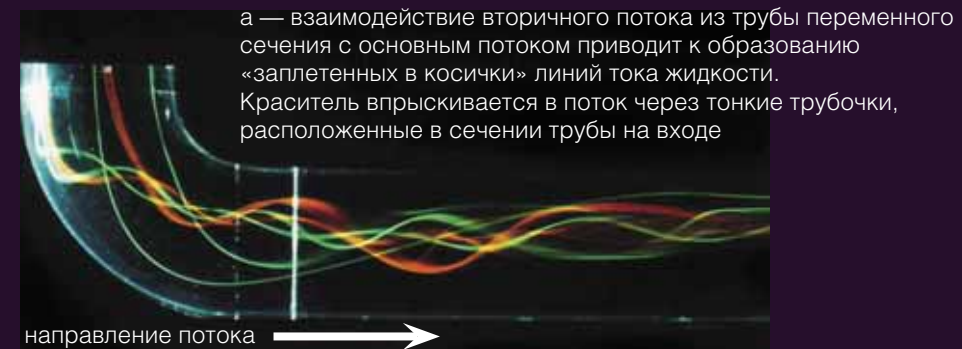
описать уравнениями, выведенными этими учеными. Однако ситуация радикально меняется, когда речь заходит об изогнутых или разветвленных трубах.

Хотя в первом случае задача усложняется лишь кривизной трубы, это значительно меняет всю картину. Описать же течение в разветвленных трубах еще сложнее — для них может существовать сразу несколько режимов потоков в зависимости от направления и интенсивности движения жидкости. Эта проблема была детально изучена в 1990 г. учеными из Аэродинамического института Р. Найкесом и Б. Бартманном, которые использовали трубы, соединенные под разным углом.

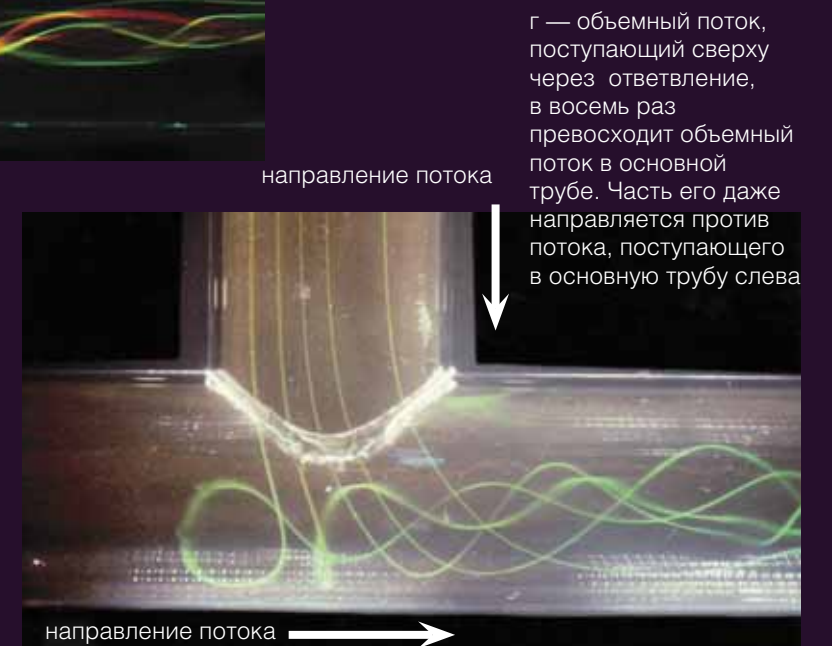
Ответвление в виде изогнутой трубы переменного сечения, например, генерирует вторичный поток, меняющийся от сечения к сечению. При взаимодействии его с основным потоком формируется несколько как бы «заплетенных в косички» линий тока жидкости. Это наводит на мысль, что завихрения в потоке образуются вследствие изгиба трубы, что подтверждается снимками окрашенного потока. Скручивание линий тока жидкости наблюдается также в слу-



Распад вихрей на подветренной стороне модели транспортной космической системы (A. Stromberg, W. Limberg, 1993): а — вид сверху; б — вид сбоку



Образование вихрей в разветвленных трубах (R. Neikes, 1989): а — ответвление в виде изогнутой трубы; б — ответвление наклонено к основной трубе под углом 67.5°, сечение выхода справа перекрыто; в — поток поступает с обоих концов основной трубы; г — ответвление подсоединено под прямым углом





Типичные формы вихрей, образующихся в разветвленных трубах. Световые проекции сделаны в горизонтальной плоскости симметрии (R. Neikes, 1989)

Вихри в автомобильном двигателе

В последние годы исследования вихревых структур ведутся и в таком важном прикладном направлении, как усовершенствование автомобильных двигателей. Ученые пытаются увеличить эффективность сгорания автомобильного топлива за счет создания вихревых колец, благодаря которым топливо могло бы распределяться в цилиндре не так, как при обычном впрыске.

Первым потоки в поршневых цилиндрах исследовал в 1988 г. Х. Вайс из Аэродинамического института. Он создал испытательный стенд с прозрачным цилиндром, в который с помощью поршня засасывалась вода, а для наблюдения за потоком через щель открытого клапана впрыскивался флуоресцентный краситель. Результаты экспериментов показали, что на такте всасывания в цилиндре образовывались два вихревых кольца.

Позже этот эксперимент был смоделирован с помощью численных методов А. Абдельфаттахом, коллегой Вайса. Еще через несколько лет Абдельфаттаху с сотрудниками удалось решить проблему более эффективного распределения топливно-воздушной смеси в цилиндре, благодаря чему расход топлива в автомобиле можно было уменьшить. К 2003 г. эта разработка была доведена до стадии промышленного использования на заводе БМВ в Мюнхене.

В заключение хочется еще раз подчеркнуть, что с вихревыми структурами нам приходится сталкиваться в самых разных ситуациях. Конечно, сегодня о вихрях мы знаем далеко не все, и их исследования будут продолжаться многие годы. Тем не менее сведения, почерпнутые из этой статьи, могут помочь лучше понять эти красивые и не всегда предсказуемые физические явления. Как и любое уникальное творение природы, вихри способны будоражить наше воображение и побуждать нас к поискам ответов на все новые и новые вопросы.

Автор и редакция благодарят д. ф.-м. н. В. Н. Ветлущого (Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск) за помощь в подготовке публикации

чае, когда ответвление присоединено к основной трубе под прямым углом. Образование крайне нестабильной вихревой структуры наблюдается и тогда, когда поток поступает с обоих концов основной трубы.

Кольцевые и подковообразные вихревые структуры, периодически образующиеся в разветвленной трубе, движутся затем вместе с основным потоком. При этом частота образования завихрений во многом зависит от объемного расхода жидкости и числа Рейнольдса (соотношения характерных сил инерции и вязкости).



Два вихревых кольца, образующиеся на такте всасывания в цилиндре двигателя автомобиля. Результаты получены на испытательном стенде с прозрачным цилиндром, в который за счет движения поршня засасывалась вода. Флуоресцентный краситель впрыскивался через щель открытого клапана (H. Weiss, 1988)

Результаты численного моделирования течения в 4-клапанном двигателе автомобиля. (A. Abdelfattah, 1998).

Две вихревые петли, образовавшиеся на такте впуска в двигателе и визуализированные в момент нахождения в верхней мертвой точке, представляют собой решение уравнений Навье-Стокса в модели, разработанной А. Абдельфаттахом в 1998 г.





Догээ-Баары — сердце сфинкса

Река Бий-Хем возле
экспедиционного лагеря
на Вавилинском затоне.
Фото В. Никифорова

Наш «УАЗик» свернул с Кара-Хаакской трассы в степь. Впереди маячила свежая зелень тополиных островков, заблестела вода Бий-Хема. Странное чувство охватывает — его, наверное, испытывал Одиссей, вернувшийся на Итаку. Еще несколько поворотов степной колеи, спуск вниз, в пойму, биение камней под колесами машины, рывок вновь вверх, к свету — и вот мы в экспедиционном лагере у Вавилинского затона. Возвращение в родной дом после бесконечно долгой дороги.

ИКОННИКОВ-ГАЛИЦКИЙ Анджей
Анджеевич — старший преподаватель
кафедры журналистики Института
гуманитарного образования (Санкт-
Петербург). Историк, публицист,
писатель (www.andrzejig.narod.ru)

Любое дело, безусловно, оценивается по результату. Однако в некоторых случаях, как мы знаем, сам процесс достижения результата значим не менее. А уж когда речь заходит об экспедиции... Само это слово заставляет сильнее биться сердца бывалых людей, как боевой клич — сердце ветерана. Шестнадцатилетняя экспедиция в тувинский археологический «заповедник» Догээ-Баары: «как это было»...

Участники раскопок 2002 года.
Крайний слева — автор статьи,
второй слева — зам. начальника
Центрально-Азиатской
археологической экспедиции
Государственного Эрмитажа
С. В. Хаврин, остальные —
студенты и «волонтеры»
экспедиции





Гора Догээ (слева) и степная терраса долины Догээ-Баары (внизу). Фото В. Никифорова

Долина предков

Месяц живем на колесах. Пять тысяч километров по трассам, по проселкам, по горным, степным и таежным колеям. Позади Алтай. Третьего дня, преодолев почти непроезжий перевал Бугузун, мы вступили в вечный, величественный покой Монгун-Тайги. Это — самый дальний и самый высокогорный район Тувы. Спустились отсюда, проехав по немислимым дорогам, жмущимся к монгольской границе. Сегодня утром еще дрогли на посеребрянной заморозком лужайке в верховьях реки Хондергей. Днем настигла нас жара на просторах Тувинской котловины и сгустилась до зноя, когда мы обследовали места старых раскопок в урочище Аймырлыг у безжизненных вод рукотворного Шагонарского моря. И вот в предвечерней прохладе, добрались, наконец, до места желанного отдыха. Наше странствие далеко еще не закончилось, но смысловой его круг замкнулся.

Цель нашей разведочной археологической экспедиции Государственного Эрмитажа в том, чтобы осмотреть, сфотографировать и, главное,



осмыслить как единое целое важнейшие памятники скифской эпохи Саяно-Алтая. Эта идея не могла бы возникнуть, если бы не сенсационные результаты раскопок «золотого» кургана Аржан-2 на севере Тувы, которые показали — мир ранних кочевников Центра Азии был велик, сложен, могуч и в основе своей един. А раскопки Аржана-2 не состоялись бы, если бы не многолетние работы здесь, в долине Догээ-Баары. Тут был собран обильнейший научный материал, вырабатывались основы для датировок центрально-азиатских памятников. Тут сложился круг людей — самоотверженных борцов за постижение далекого скифского прошлого этих мест. Истоки нашей экспедиции здесь. Из семи ее участников пятеро — начальник Константин Чугунов, его жена Мария, фотограф Владимир Теревенин, водитель Юрий Пищиков и я — работали на Аржане-2. И четверо (те же, кроме Володи) провели здесь, на Догээ-Баары, много полевых сезонов. Собственно, Костя Чугунов все это и затеял: в 1990 году возглавил археологические работы по

исследованию могильника Догээ-Баары-II. С тех пор раскопки ведутся без перерыва семнадцать сезонов. Семнадцать лет в тополиной рощице над Бий-Хемом (так по-тувински называют Большой Енисей) появляется этот вот лагерь.

Если выйти на каменистый берег, откроется вид на север, на горные хребты, идущие один за другим повинаясь величественному ритму. Бурые, зеленые, синие, голубые... А если, пройдя пойму, подняться на террасу — раскинется широкое степное пространство, огражденное с севера и запада невысокими покатыми горами, почти лишенными растительности. Это и есть долина Догээ-Баары. Она тянется километров на 15—20 вверх по Бий-Хему от места его слияния с Каа-Хемом у города Кызыла. Над долиной в ее южной части — вершина Догээ. Она похожа на разрушенную выветриванием каменную голову, а под ней — красно-бурые откосы

и скалы, спускающиеся к степи как протяженное тело и лапы лежащего существа. Сфинкс, охраняющий Енисей и долину. Что означает название Догээ — никто толком объяснить не может. Имя сфинкса. Говорят, что его можно истолковать как «солнечная сторона». А «баары» — склон, то, что находится под. Получается, «Догээ-Баары» — «место под солнцем».

Охраняемая сфинксом долина несет на себе десятки оспин — курганов, собранных в цепочки. Сколько их — точно сказать невозможно: некоторые распаханы или застроены дачами, некоторые полностью разрушены при разработке карьеров на окраинах Кызыла. Более тридцати изучены археологами. Говоря по научному, это все есть «могильное поле Догээ-Баары». С точки зрения древних обитателей этих мест — священное лоно упокоения предков.





С. В. Хаврин и Н. Н. Николаев зачищают погребение. Фото В. Никифорова

Центрально-азиатские россыпи

Туву нередко называют археологическим заповедником. Здесь на степных террасах вдоль речных долин сохранилось бесчисленное множество погребальных комплексов древних и средневековых кочевников — курганных могильников. Скалистые горы, возвышающиеся над долинами, хранят на своих каменных отвесах произведения изобразительного искусства древних охотников и скотоводов — петроглифы. Исследования древностей Тувы начались на рубеже XIX—XX веков. Урянхайский край, или Сойотия (так тогда называли эту страну) поражали первых исследователей — В. В. Радлова, А. В. Адрианова — архаичностью своего жизненного уклада, сохранившего в неизменном виде черты, восходящие ко временам ранних кочевников.

В двадцатых годах в независимой Тувинской народной республике работал классик сибирской археологии С. А. Теплоухов. После вхождения Тувы в состав СССР в 1944 году археологические исследования здесь стали проводиться систематически. А в шестидесятых-семидесятых годах развернулась деятельность Саяно-тувинской археологической экспедиции Академии наук, пожалуй, не имеющей равных по масштабам и размаху. Главной задачей СТЭАН было изучение памятников, попадающих в зону затопления проектируемой Саяно-Шушенской ГЭС. Возглавил экспедицию ленинградский археолог А. Д. Грач, работали в ней известные ученые: специалист по палеолиту Сибири С. Н. Ас-



«Вид сверху» — так делают фото раскопа. Фото В. Никифорова



Работа на кургане: археология не любит ленивых! Фото В. Никифорова



Распределитель ремней в виде головы грифона. Бронза. Курган 12. V в. до н. э. Фото С. Шапиро

тахов, выдающаяся исследовательница центрально-азиатских петроглифов М. А. Дэвлет, известные археологи А. М. Мандельштам, Д. Г. Савинов и другие.

Экспедиция, состоявшая из нескольких отрядов, хорошо обеспеченная авто- и даже авиатранспортом, получившая поддержку тувинских властей, развернулась и за пределами зоны затопления, в центральных и в труднодоступных юго-западных районах Тувы. В начале семидесятых на севере Тувы, в долине реки Уюк, экспедицией под руководством М. П. Грязнова (тоже ленинградца, как большинство сотрудников СТЭАН) и тувинского археолога М. Х. Маннай-оола был раскопан поразительный памятник, получивший наименование «Аржан-1», — гигантский (120 метров в диаметре) царский курган, заключавший в себе сложную радиальную структуру из десятков листовидных клеток и множество человеческих и конских погребений. Открытия тех лет показали: на территории Тувы

Поминальник скифского времени, в кладке которого автор обнаружил каменную личину. Фото из архива К. Чугунова



Портупейная обойма. Бронза. Курган 4. V в. до н. э. Фото С. Шапиро



в древности бурлили и кипели страсти, выковывалась необычная раннекочевническая культура. Это была часть гигантского, простиравшегося до берегов Дуная мира воинственных всадников и скотоводов, именуемых, с легкой руки Геродота, скифами.

Исследование археологических памятников Тувы продолжалось, хотя и не с тем размахом, после прекращения деятельности СТЭАН, после смерти «отцов» тувинской археологии Грача, Грязнова, Мандельштама. С восьмидесятых годов и до сего дня в разных уголках Тувы работает экспедиция Института истории материальной культуры РАН под руководством В. А. Семенова. В середине восьмидесятых в отряде Семенова появился молодой археолог Костя Чугунов. В 1989 году он получил Открытый лист на проведение разведывательных работ по Каа-Хему и в районе Кызыла. И обратил внимание на многочисленные курганы долины Догээ.

О существовании этого обширного могильного поля было известно и раньше. Соратница Грача, занимавшая когда-то высокие посты в руководстве Тувинской АССР, Т. Ч. Норбу в разговоре с автором этого очерка утверждала, что еще в шестидесятых годах она намеревалась затеять здесь раскопки, но не смогла за недостатком средств. В конце восьмидесятых археологи забеспокоились: курганам Догээ-Баары грозит разрушение. Часть уже снесена при разработке карьеров; часть попала в зону, отведенную под строительство дач и под распашку. Надо что-то делать. Удалось каким-то чудом получить финансирование, и с лета 1990 года начались раскопки. Двенадцать лет ими руководил К. В. Чугунов. А после его ухода на Аржан-2 — специалисты из Эрмитажа С. В. Хаврин и Н. Н. Николаев.

У этой экспедиции есть особенность: она изначально была делом друзей, собранием равных. Да и не выжила бы она в лихие девяностые, если бы рядом с начальником не оказались друзья, единомышленники, собратья. Были годы, когда работали на чистом энтузиазме. С «гайдаровской» реформы 1992 года многие (думаю, большинство) не только не получали за экспедиционные труды зарплату, но ездили из Петербурга в Туву за свой счет — в отпуск. Были годы, когда даже на пропитание приходилось занимать деньги у кызыльских друзей. Только с 2002 года, когда экспедицию взял под свое крыло Эрмитаж, ее материальное положение более или менее стабилизировалось. Но раскопки не прекращались ни на один сезон.

Немного золота, немного бронзы...

Очень хорошо помню первое лето на Догээ-Баары. Раскоп. Жара — под сорок и за сорок. Работаем — копаем большой, 24 метра в поперечнике, курган скифского времени (как потом выяснилось — V в. до н. э.). Камни лежат, окопанные, на грунтовых останцах, похожие на грибы. Жжет солнце, спина пылает, пот капает и заливает глаза при каждом взмахе лопатой. Хочется пить. Ладони в кровавых мозолях от кайла. За кайло я схватился потому, что должен был себе и всем доказать, что я, новичок, могу работать не хуже прочих. До меня дошел слух, что, узнав о моем приезде, начальник раскопа сказал:

— Зачем Анджей приедет? Ра-бо-тать? Он у меня умрет на раскопе!

Теперь я доказываю, что не умру. Чем тяжелее работа, тем жарче азарт. Кровь течет по руке, я луплю по слежавшемуся галечнику... Тресь! Рукоятка не выдержала, сломалась. Жарко, хочется пить...

Перекур, сидим под тентом, в душной тени. Какой-то разговор, ничего не значащий треп. Всем хочется холодного пива — до того, что оно, в виде огромной запотевшей бутылки, как будто возникает из воздуха. Коллективная галлюцинация.

— Ну, пойдём, поработаем! Возрадуемся! — говорит начальник раскопа, глядя на привешенные к поясу часы.

Идем медленно, босиком по колючим распластанным по земле кустикам, являющим собой чуть ли не един-

Костяные и бронзовые наконечники стрел, обоймы, крюки. Курган 19. IV в. до н. э.



Деревянный гребень, бронзовое зеркало, бронзовые и костяные наконечники стрел и др. предметы. Курган 18

Фото С. Шапиро

ственную тут растительность. Наша одежда: плавки (в лучшем случае шорты) и платок на голове (в лучшем случае картуз). Из-под ног время от времени взлетает саранча-кобылка, громко трещит бордовыми крыльями и падает. Отвал. Раскоп. Лопата, тачка, тяпка, совочек, нож, метелка, флейц. Желтоватый грунт. Поиски структуры сооружения. Наука...

А вот — едем по местам старых раскопок на «РАФике». Шофер Шамбун, тувинец, лицо круглое, темное, непроницаемое, слов почти не говорит. Когда пьет водку — не пьянеет и не суетится, а каменеет; с каждым стаканом становится прямее, молчаливее, неподвижнее... Будда. Горы вокруг соответствуют Шамбуну. Молчаливые, темные, неподвижные. «РАФик» каким-то чудом проезжает по здешним дорогам. Серпантин. Прижим. Перевал. С перевала видна страшная даль, как будто вся Тува, все мироздание в один миг открылись взору. Бесконечность... И снова — спуск, серпантин, шоферские памятники вдоль дороги.

А вокруг лагеря доцветает шиповник. Костяника красненькими капельками среди травы. Сидим на длинной коряге, принесенной на берег половодьем, смотрим на воду. Все спокойно, все просто: Енисей течет вечно, и гора Догээ с отрогами-лапами, похожая на сфинкса, стоит вечно, и вечно-равнодушно глядит на нас, крохотных. Хорошо.

Заканчивается июль. Костя Чугунов задумчиво ходит по краю могильной ямы, что-то записывает в свой полевой дневник. Потом, отложив тетрадку в сторону, спускается в яму, берет лопату. Работает быстро, точно. Тут же все мы, грязные, в поту, копошимся, режем слежавшийся суглинок штыковой лопатой.

В тот год в кургане обнаружили скелетик ребенка, немного бронзы, деревянное блюдо, гребень. Оба центральных погребения оказались грабленными: в них, кроме костей — несколько золотых бляшек с изображением козликов, да шпилька, обтянутая золотом.

Базовый комплекс

Именно потому, что работы на Догээ-Баары велись (и, надеюсь, будут продолжаться) так долго и последовательно, этот комплекс приобрел особое значение для изучения всего древне-кочевнического мира Центральной Азии и Сибири. Для археологии Тувы его можно назвать базовым. Это значит, что исследованы не какие-то обрывки и фрагменты дошедшего до нас прошлого, а все, что доступно исследованию, в комплексе. Здесь нет главного и второстепенного. С равной методичностью изучены погребения богатые и бедные и даже вовсе пустые поминальнички. Золото, железо и бронза, костные останки и дерево срубов из трех десятков разновременных курганов подвергнуты анализу с использованием современных физических, химических и биологических методов. На основа-

нии радиоуглеродного анализа древесины из разных курганов получены датировки, которые позволяют существенно уточнить хронологию скифской эпохи Центральной Азии. Прослежена конструкция надмогильных сооружений. Обследовано, хотя бы отчасти, межкурганное пространство. Ландшафт, вмещающий древние памятники, тоже стал предметом изучения и осмысления. Бродя по степи, сотрудники экспедиции находили немало интересного. Камни с петроглифами, например...

Навсегда запомнил я свою единственную находку такого рода. Вечер. Жара спала. В мягком свете склоняющегося к западным горам солнца, один, без цели и смысла, шагаю по спокойной степи. Мысли, столь же безотчетно-безграничные, как это небо, начинают копошиться в голове. И вдруг я физически чувствую на себе чей-то взгляд. Из земли на меня и сквозь меня смотрят таинственные глаза. Я закружился на месте, внимательно осматриваясь. И не сразу разглядел в кладке маленького поминальничка, почти заплывшего землей, крупный камень, на котором рукой человека, жившего три тысячи лет назад, выбиты глаза, рот, широкий плоский нос... Такие петроглифические изображения называют личинами. Лик вечности.

Что греха таить, археологи в душе — кладоискатели. Каждый мечтает сделать сенсационное открытие, раскопать свою Трою. Да и финансирование легче бывает найти под проект, обещающий что-нибудь грандиозное. По этой причине рядовые памятники прошлого исследованы куда хуже, чем выдающиеся. А при изучении выдающихся памятников внимание сосредоточивается на самом блестящем. Достаточно вспомнить великие по своему научному значению работы М. П. Грязнова и С. И. Руденко в урочище Пазырык. Потрясающие вещи из пяти пазырыкских курганов — дерево, войлок, кожа, ткани, мумифицированные останки — украшают сейчас экспозицию Эрмитажа. Совсем недавно, перед тем как совершить бросок через горы в Туву, мы посетили места этих знаменитых раскопок. И убедились в том, что оба замечательных ученых копали только могилы. Копали сквозной или глухой траншеей, пробиваясь к могильной яме, и большую часть каменной кладки даже не трогали. А что в ней? А что под ней? Неизвестно. Малые курганы, сопровождающие братьев-гигантов, были исследованы фрагментарно, как и пространство между ними.

На Догээ-Баары в центре внимания исследователей оказалась жизнь именно «среднего класса» древних кочевников — в том виде, в каком она отразилась в погребальном обряде и запечатлелась в погребальных комплексах. Конечно, работы в этом направлении велись и раньше. Вот перед приездом в лагерь на Вавилинском мы бродили по заросшим польню, заплывшим глинистой землей раскопам урочища Аймырлыг.

Отряд СТЭАН, возглавляемый Мандельштамом, много лет проводил здесь комплексные исследования, собрав материал, может быть, даже более значительный, чем на Догээ-Баары... К сожалению, основной объем этого материала так и остался после смерти руководителя неопубликованным и даже необработанным. Почему? Может быть, потому, что здесь не сложился круг друзей-единомышленников, готовых продолжать дело, невзирая на обстоятельства?



Мертвые как живые

Помню я этих «обитателей» кургана 6. В тот год мне пришлось долго и трудно добираться до лагеря на Вавилинском. Приехал, когда раскопки шестого кургана были уже почти закончены. Вхожу в лагерь, под приветливую тополиную сень. У камеральной палатки стоят двое: Чугунов и фотограф Стас Шапиро. Стасик приветливо машет мне ручкой. Не своей ручкой — высушенной, серовато-бурой, со скрюченными пальчиками ручонкой мумии. Подхожу. Возле камералки лежат странные фрагменты: мужской торс, женский, несколько рук и ног, отдельно черепа с остатками мягких тканей... Философское зрелище: навеивает думы о бренности мира и тщете всего сущего... Надо сказать, работать с этим материалом нелегко. Представьте себе: раскапываете вы погребение, работаете внутри сруба осторожно, совочком, флейцем — и вдруг из плотно слежавшегося заполнения могильной ямы проступает коричневый палец с ногтем. Потом вся кисть руки высовывается, как будто хочет вас схватить и утащить в подземный мир. Эти частично мумифицированные (иначе говоря, полуразложившиеся) останки нужно полностью освободить от земли и, не сдвинув, не повредив, тщательнейшим образом зачистить под фотоаппарат.

И только после этого осторожно извлечь для дальнейших исследований.

Любопытно: в скифских курганах Тувы мумифицированные останки встречаются в единичных случаях, а по соседству, на Алтае — очень часто. Может быть, семейство, погребенное в шестом кургане, иммигрировало сюда с Алтая? Во всяком случае, это и многие другие открытия, сделанные за годы раскопок на Догээ-Баары, свидетельствуют о постоянном взаимодействии и взаимовлиянии древних культур средней полосы Евразии. В одном из курганов, в насыпи, был найден китайский колокольчик эпохи Хань; в другом — каменная курильница, такая же, какие находят в Казахстане и Поволжье. Раковины каури могли попасть сюда только с берегов

Индийского океана. Много обнаружено материалов, перекликающихся с Пазырыкской культурой Алтая и Тагарской культурой Хакасии. Эти культуры

К. Чугунов зачищает мумифицированные останки. Курган 6, V—IV вв. до н. э. Фото С. Шапиро



Из работы К. В. Чугунова «Некоторые итоги исследований могильника Догээ-Баары II», 1999 г.:

«В большинстве случаев курганы имели каменно-земляное наземное сооружение. В основе его лежал выкид грунта из глубокой центральной могильной ямы, сверху вымощенный камнями. Все курганы имели ограду из крупных каменных блоков или плит, с внешней стороны которой часто выкапывался ровик с проходами по центральной оси основного погребения. Могильная яма зачастую имела перекрытие на уровне горизонта. <...> Это перекрытие должно было поддерживать надмогильное сооружение, имевшее форму цилиндрической башни из плит и валунов. <...> Внутри ямы располагалась погребальная камера — прямоугольный сруб из лиственничных бревен или брусьев. <...> Погребенные помещались внутри сруба в обычной для скифского времени Тувы позе на левом (реже — правом) боку с согнутыми в коленях ногами, руки вытянуты перед туловищем, головой ориентированы на западный сектор. <...> Все центральные погребения, кроме одного, оказались ограбленными. <...> Некоторые

могильные ямы к моменту ограбления не были засыпаны грунтом, то есть курган какое-то время после захоронения существовал как открытый погребально-поминальный комплекс. На этом этапе могли осуществляться подхоронения в сруб умерших родственников, выполнялись поминальные ритуалы. <...>

В погребальном обряде и связанных с ним ритуалах важное место занимал огонь. В заполнении могил часто встречаются угли, бревна перекрытий могильных ям иногда обожжены. <...> Можно предположить, что это места жертвоприношений, так как среди углей найдены пережженные кости. Обнаруженные в двух ямах обугленные лопатки, возможно, говорят о магических обрядах, совершавшихся здесь. <...>

В центральной могиле кургана 6 найдены останки семи погребенных. Некоторые тела частично сохранили кожный покров и следы искусственной мумификации (разрез на животе, зашитый нитками). <...> Следы ограбления здесь свидетельствуют о том, что перекрытие взламывалось в не засыпанной землей могиле: удаленное бревно и жердь отброшены к стенке ямы».



Золотая нашивка в виде орла,
Догээ-Баары II.
Курган 20. V—IV вв. до н.э.
Фото из архива К. Чугунова

в общем синхронны большинству памятников Догээ-Баары (V—IV вв. до н.э.). Но есть и переклички во времени. Бронзовое зеркальце из кургана 20 украшено изображением кабана, выполненным в стиле, близком Аржану-2 (вторая половина VII в. до н.э.) и даже Аржану-1 (конец IX в. до н.э.); изящно-массивный баранчик, украшающий застежку портупей из кургана 10, — явно близкий родственник баранов с наверхий из Аржана-1.

На материале этих памятников можно отчасти реконструировать жизнь восточно-скифского мира времен его становления и расцвета. В середине I тысячелетия до н.э. воинственные всадники, сломив сопротивление иных народов и впитав их культуру, безраздельно господствовали в степных долинах Саяно-Алтая. Но не было у них покоя. Останки многих погребенных несут на себе следы военных столкновений. Наконечники стрел, застрявшие в костях, проломленные черепа... В эту эпоху и далекий Запад узнал силу скифского воинского духа: в VI—IV вв. до н.э. их летучие отряды держали в страхе оседлое население Ближнего Востока и Причерноморья. По-видимому, столь дальние военные экспедиции лишили степные кланы лучшей воинской силы, а внутренние смуты окончательно подорвали их мощь. Раскопанные в 2001—2006 годах на Догээ-Баары курганы поздне-скифской эпохи (III—II вв. до н.э.), при их крайней бедности, дают, однако, ценный материал о временах упадка скифско-

го мира и его постепенного растворения под ударами пришедших с юга завоевателей-хуннов. Здесь сама бедность показательна. Как и заметное видоизменение погребального обряда: могильные ямы не так глубоки, срубы в них выстроены из обгорелого дерева... Некоторые срубы сильно пострадали от огня, плававшего в них с такой силой, что оплавилась керамика. Скифский мир уходил, выгорал в этих погребальных кострах, улетал дымом в вечное небо над Енисеем... Превращался в загадку для будущих поколений. Загадку, спрятанную в сердце Сфинкса.

Осмотрев раскоп этого года, возвращаемся в лагерь. Там ждет ужин, и молодежь активно таскает бревна и коряги, готовит праздничный — ради нашего приезда — костер. Похоже, отдохнуть сегодня не придется. Я вдруг понимаю: здесь, в лагере на Вавилинском, в раскопках на Догээ-Баары, выросло целое поколение. Этого юношу с пробивающимися усиками я помню здесь еще дошкольником; та девушка, намеревающаяся осенью выйти замуж, трехлетней девчонкой бегала по острову, ловила мотыльков... А сколько студентов прошло через эту экспедицию! Жизнь здесь бесконечна и непрерывна; лучи, сходящие с вершины Догээ, соединяют все и всех — стариков с молодыми, настоящее с прошлым, нас, сегодняшних странников, с суровым и загадочным миром древних воинов, чьи тела были положены в подземные жилища, а души вечно странствуют в небесном просторе...



Пояс с обоймами в виде
голов грифонов.
Бронза, кожа. Курган 17

Фото С. Шапиро

Пояс с обоймами в виде
голов грифонов.
Бронза, кожа. Курган 17



Мачта высотой 302 м новой научной станции Института леса
им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск).
Фото М. Хильшера