

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА



50
СОРАН
SB RAS

из первых рук

2
2⁽¹⁴⁾ 2007



ОТКРЫТИЯ
НА ПОВЕРХНОСТИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ

ЛЕКАРСТВО
ДЛЯ ГЕНОВ

СИЛА
СЛАБЫХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

В ПОИСКАХ
ОЛЕНЯ
ЗОЛОТЫЕ РОГА

ГАРМОНИЯ ТРИЕДИНСТВА

ISSN 1810-3960



9 771810 396003 1 4



Дорогие читатели!

Наш очередной выпуск выходит в то время, когда Сибирское отделение Российской академии наук празднует свой полувековой юбилей. Пятьдесят лет — небольшой возраст даже для человека, не говоря уже о столь крупной и важной организации, какой является Российская академия. Основанная в 1724 г. великим реформатором Петром I, она с самого начала носила четко выраженный государственный характер, в отличие от вольных научных обществ Европы. Первой задачей Академии было, как указано в первом ее Уставе, «науки производить и совершать», вторая была сформулирована ученым секретарем, академиком А. Х. Миддендорфом: извлекать «непосредственную пользу для государства».

Эти формулировки как нельзя более применимы к первому региональному отделению Академии, созданному спустя 233 года в Сибири — огромном регионе, обладающем колоссальными природными ресурсами. Конечно, суровая, но щедрая сибирская земля привлекала первопроходцев-естествоиспытателей задолго до возникновения самой Академии, однако ее планомерное изучение началось лишь с академических Камчатских экспедиций — наиболее грандиозных в истории северных стран.

Первыми опорными пунктами постоянной науки в Сибири и на Дальнем Востоке стали университеты. Однако на просьбы местных властей в 1920-30-х гг. создать академические отделения специальная комиссия Академии по организации филиалов на первых порах пришла к заключению, что «основать в указанных городах подлинное отделение Академии наук невозможно», разослать «академиков по указанным городам для постоянной работы без уничтожения самой Академии наук невозможно, а выбрать для этого новых академиков, обязав их жить и работать в таком-то городе, также нельзя».

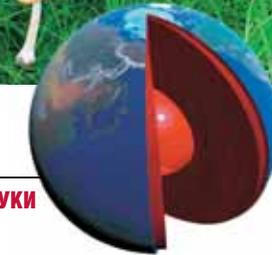
Серьезный сдвиг произошел лишь в годы войны, когда в Сибирь были эвакуированы многие заводы и научные учреждения из центральных районов страны. В 1943 г. был организован Западно-Сибирский филиал Академии наук СССР в Новосибирске, затем появились филиалы в Иркутске, Владивостоке, Якутске. Подлинный прорыв в развитии науки в Сибири связан с образованием в 1957 г. Сибирского отделения Академии наук СССР, когда стало возможным «невозможное»: добровольное массовое переселение из столиц ведущих ученых и молодых энтузиастов — выпускников вузов, которому трудно найти исторические аналоги.

Основополагающие принципы отделения: комплексность фундаментальных исследований, фундаментальное образование на базе ведущих научных школ, практическая реализация научных достижений — стали, по сути, продолжением и развитием частично утраченных изначальных академических традиций. Принципы, заложенные основателями, позволили Сибирскому отделению не только добиться впечатляющих успехов в различных областях знания, но выжить в период системного кризиса и перейти к реализации стратегии развития в новых условиях.

В начале нового столетия мы можем отметить ряд положительных тенденций, связанных с увеличением государственного финансирования науки, в том числе выделение средств на модернизацию оборудования, создание технопарков и особых экономических зон как новых форм взаимодействия науки и производства. Наука не только провозглашена необходимым условием развития нашей страны — начато реальное осуществление заявленных целей.

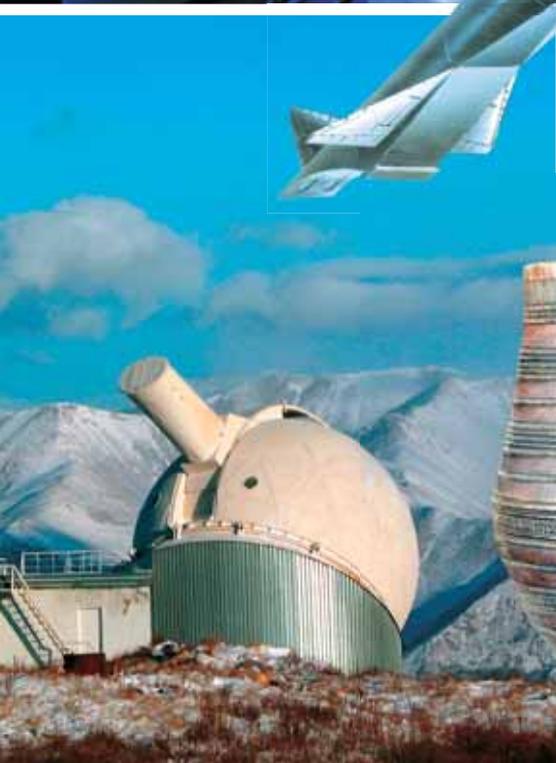
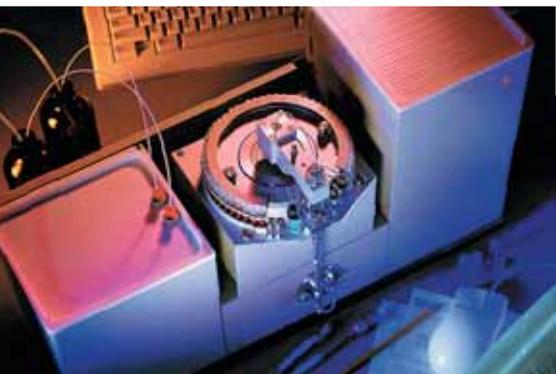
Значит, несмотря на возможные трудности, ученые и дальше смогут успешно работать, принося непосредственную пользу государству.

академик Н. Л. Добрецов,
главный редактор



1964 Создан первый УСКОРИТЕЛЬ элементарных частиц на ВСТРЕЧНЫХ ПУЧКАХ. с. 24

1970 В Государственном реестре научных открытий зарегистрировано открытие ГАЗОГИДРАТОВ. с. 50



.01

6 **НОВОСТИ НАУКИ**

.02

50 ЛЕТ СО РАН

10 *Н.Л. Добрецов*
Гармония триединства

.03

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

24 Ускорители частиц — микроскопы современной физики
30 Мастер-СИ
34 ЛСЭ: нежно и точно
36 *А.Л. Асеев*
Открытия на поверхности полупроводников
39 *А.В. Козырев, И.В. Пегель*
Томский импульс
42 *В.Е. Панин, В.П. Сергеев*
Наноструктурные покрытия: эффект «шахматной доски»
45 Наноразнообразие

.04

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

48 *В.М. Фомин, С.М. Аульченко, А.Ф. Латыпов*
За звуковым барьером

.05

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

50 Топливо будущего

.06

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

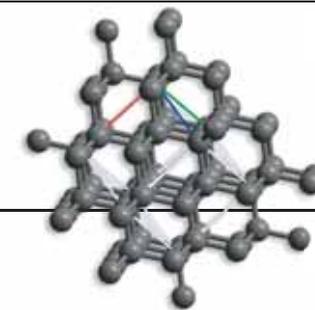
52 *Ю.Н. Молин, Ю.Д. Цветков*
Сила слабых взаимодействий

.07

НАУКИ О ЖИЗНИ

56 *В.В. Власов*
Лекарство для генов
60 *Л.Н. Трут*
Эволюционный эксперимент

1976 Открыто явление ВЗРЫВНОЙ ЭМИССИИ электронов. с. 39



.08

1990—1995 На плато Укок открыты ЗАМЕРЗШИЕ ПОГРЕБЕНИЯ древней ПАЗЫРЫКСКОЙ культуры. с. 67

.09

2003 Запущена первая очередь ЛАЗЕРА на СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ. с. 34



.10

ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

74 *А.В. Брушков, М. Фукуда*
Мы живем на холодной планете

.11

ФАКУЛЬТЕТ

86 *Е.В. Болдырева*
Меж алмазных наковален

.12

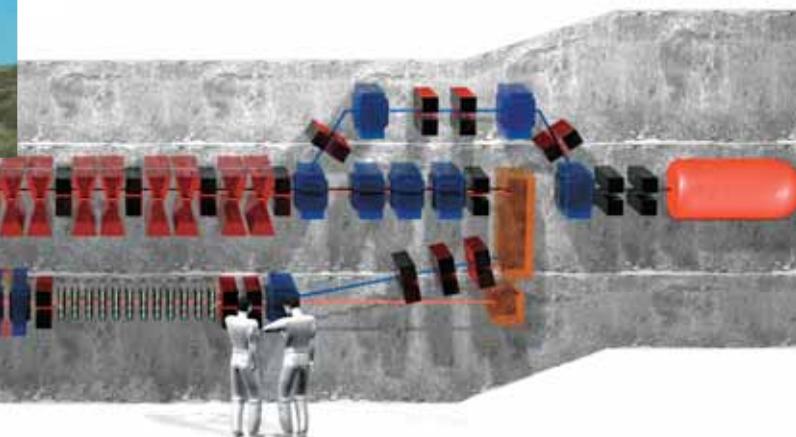
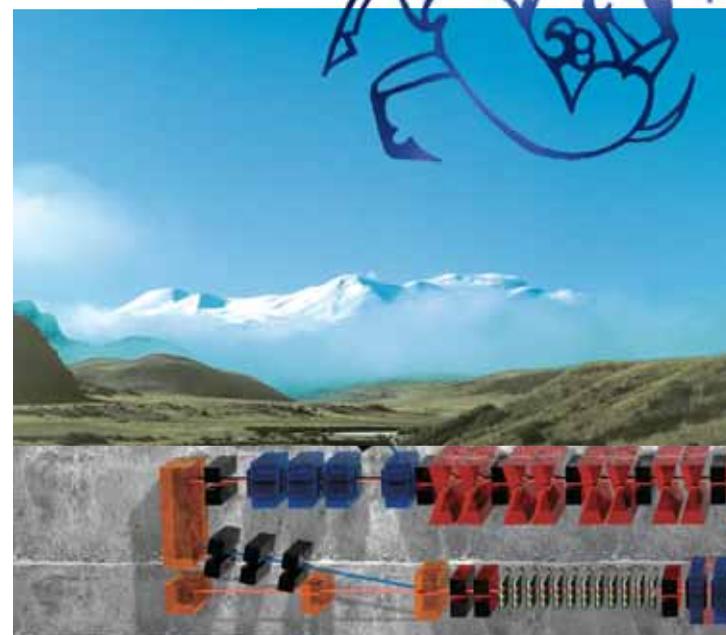
ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ

94 *Б.В. Базаров*
Кочевник в эпоху глобализации

.13

АБОРИГЕНЫ СИБИРИ

106 *А.Х. Элерт*
Алкоголь и галлюциногены в жизни коренных народов Сибири



Льдотрясение как тектоническая модель

В качестве необычного объекта для моделирования движения плит земной коры и прогнозирования землетрясений ученые предлагают использовать ледовый покров Байкала.

Этим целям соответствует весенний лед, обладающий высокой степенью изменчивости структуры и механических свойств



Озеро Байкал — один из величайших природных феноменов — своими тайнами и непредсказуемым поведением издавна привлекает внимание людей. В толще многометровых отложений озера «записана» история всего Азиатского континента; богаты и неповторимы его флора и фауна. Уникален даже прозрачный лед Байкала (впрочем, как и его вода). Тот, кому посчастливилось побывать на байкальской подледной рыбалке, видел, как весной сталкиваются льдины, словно тектонические блоки во время самого настоящего землетрясения. Подобное становится возможным по той причине, что меняются характеристики льда: в этот период нижняя часть льдин находится в особом пластично-вязком состоянии.

В 2005 г. по инициативе академика Н.Л. Добрецова началась реализация интеграционного проекта СО РАН под названием, которое говорит само за себя: «Ледовый покров озера Байкал как модельная среда для изучения тектонических процессов». В рамках этого проекта свои усилия объединили специалисты шести институтов СО РАН из Томска, Иркутска, Новосибирска и Улан-Удэ.

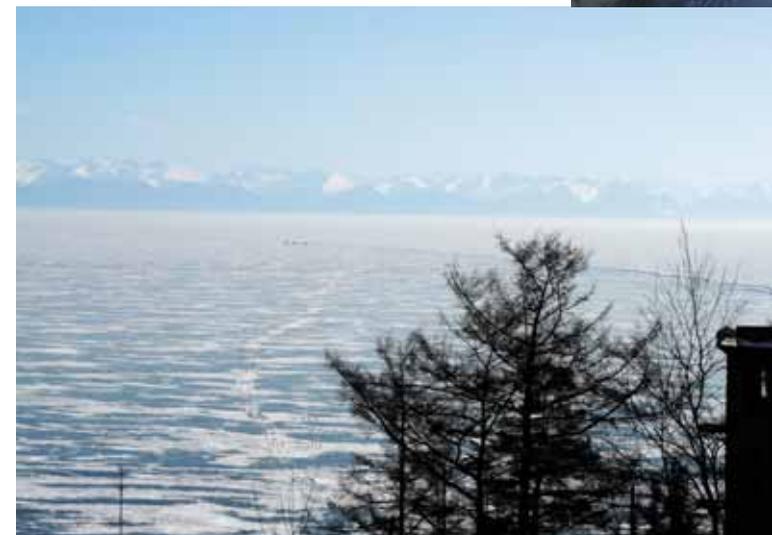
Главная цель проекта — изучить процессы деформирования, растрескивания и механического разрушения ледового покрова озера, которые сопровождаются внешними эффектами, во многом сходными с процессами, в частности с сейсмическими, происходящими в земной коре. Во время двух ледовых экспедиций были проведены натурные эксперименты по контролируемому разрушению ледовых образцов, блоков и пластин, в ходе которых удалось исследовать возникающие при этом сейсмические, акустические и деформационные эффекты. Особое внимание было уделено формированию огромных по протяженности трещин, так называемых становых. Их возникновение регулярно сопровождалось динамическими эффектами, которые мы назвали ледовыми ударами: они очень напоминали тектонические землетрясения.

Эти работы не имеют аналогов в мировой практике, поэтому неудивительно, что и многие из полученных результатов оказались уникальными. На сегодняшний день главный вывод ученых состоит в том, что пресноводный лед Байкала действительно обладает очень

широким спектром физико-механических и реологических свойств, и это позволяет наглядно изучать и с высокой степенью подобия моделировать тектонические процессы, происходящие в земной коре.

Решить подобные задачи в «геологической среде» сегодня практически невозможно. Кроме того, результаты реализации ледового проекта могут быть использованы как в целях обеспечения безопасности транспортных ледовых переправ, так и в целях предотвращения разрушения береговых сооружений льдом.

Д. г.-м. н. В. В. Ружич (Институт земной коры СО РАН, Иркутский научный центр)



Становая трещина, проходящая через Байкал: ее образование сопровождается такими же динамическими эффектами, как и при землетрясении



Фото автора

Вакцинация запахом

Ученые из новосибирских институтов Сибирского отделения РАН с помощью экспериментов, проведенных на лабораторных животных, попытались определить, как влияют запаховые сигналы самок на устойчивость самцов к заболеванию гриппом

Минувшей зимой многим из нас не удалось избежать ГГПЗ — так медики называют грипп и гриппоподобные заболевания, собирающие обильный урожай в холодное время года.

Как известно, против гриппа, как впрочем, и против других вирусных инфекций, не существует эффективных методов лечения. Надеяться можно лишь на свой иммунитет: как врожденный, так и приобретенный, — представляющих собой пул специфических защитных антител, которые образовались в результате перенесенного заболевания или вакцинации.

Исходя из логических соображений, можно предположить, что «сила» неспецифического иммунитета нашего организма, т.е. сопротивляемость любым внешним инфекционным агентам, может определяться несколькими факторами разной природы. Однако оценить действие последних в экспериментах, которые проводятся на человеке, затруднительно, даже если не принимать во внимание этическую сторону вопроса: организм любого из нас является уникальным «продуктом» длительного индивидуального процесса жизни. То ли дело лабораторные мыши, да еще так называемых чистых линий: все возможные параметры, по которым характеризуются эти грызуны, унифицированы!

Ученые из институтов Сибирского отделения РАН: Института систематики и экологии животных и Института химической биологии и фундаментальной медицины — провели необычный эксперимент, чтобы выяснить, как на иммунитет влияют запаховые сигналы, несущие информацию о размножении, пожалуй, о самом эволюционно-значимом процессе. Четыре группы самцов мышей линии BALB/c были инфицированы вирусом гриппа. Некоторые из них были предварительно вакцинированы стандартной противовирусной вакциной, другие — в течение месяца экспонированы

запахом самок. Одна группа стала контрольной: животные, входящие в ее состав, не прививались и в течение 7 дней были изолированы от самок.

Ранее ученые из ИСиЭЖ установили, что хемосигналы самок подавляют у самцов специфический гуморальный иммунный ответ. Этому есть объяснение: когда такие затратные системы, как иммунная и репродуктивная, начинают конкурировать между собой, мужской организм отдает предпочтение последней. Тем не менее, после экспериментального заражения мышей вирусом гриппа смертность наблюдалась лишь в одной группе — контрольной. Действие запаховых стимулов оказалось подобным действию вакцины!

Ученые выяснили, что причина данного эффекта кроется в перераспределении средств неспецифической иммунной защиты, в результате чего защитные клетки — лейкоциты — из крови попадают в слизистую дыхательных (а возможно, и других) путей. Защита этих первых рубежей на пути проникновения инфекций в организм может сослужить неплохую службу особям, вступившим на «тропу» размножения, чреватую риском встречи с новыми болезнетворными агентами.

В эксперименте на мышах был использован запах половозрелых самок в качестве наиболее адекватного сигнала к размножению. Для людей, а также для кур (птичий грипп, заболеванию которым они подвержены, сейчас волнует широкую общественность) наиболее значимы другие — визуальные и акустические сигналы: вид и голос любимых. Влияют ли эти сигналы на механизмы неспецифической резистенции и, соответственно, на устойчивость к инфекциям? Не исключено. Ведь уже появились обзорные работы с такими красноречивыми названиями, как «Иммунитет и счастье»*.



Показатели выживаемости невакцинированных самцов лабораторных мышей в случае заражения их гриппом зависит от запаховой среды

*См.: Barak, Y. *The immune system end happiness // Autoimmun Rev. — 2006. — 5 (8). — P. 523–527.*



- физико-технические науки
- математика и механика
- химические науки
- науки о земле
- науки о жизни
- гуманитарные науки



50 лет Сибирскому отделению Российской академии наук

Подлинный прорыв в развитии науки в Сибири связан с образованием в 1957 году Сибирского отделения Академии наук СССР, когда стало возможным «невозможное»: добровольное массовое переселение из столиц ведущих ученых и молодых энтузиастов — выпускников вузов, которому трудно найти исторические аналоги. Принципы отделения, заложенные его основателями, позволили сибирской науке добиться впечатляющих успехов в различных областях знания



Начало строительства Академгородка (1958—1959 гг.)
Фото Р. Ахмерова



Н. Л. ДОБРЕЦОВ

Гармония триединства

К 50-летию Сибирского отделения Академии наук

Создание в мае 1957 г. Сибирского отделения Академии наук СССР стало, безусловно, революционным событием не только в отечественной науке. За какие-нибудь десять последующих лет научные исследования, проводившиеся в СО АН, достигли мирового уровня. Для сравнения: старейшей в Сибири томской научной школе, чтобы достичь подобных успехов, потребовалось вдесятеро больше времени — почти сто лет!

Становление новой сибирской науки на начальном этапе вызвало живой интерес со стороны мировой научной общественности, прежде всего потому, что построенный в Новосибирске Академгородок, форпост и центр Отделения, стал первой территориальной структурой, специально предназначенной

для развития фундаментальной науки и фундаментального образования. Его создание явилось уникальным экспериментом, который полностью оправдал себя: высокая концентрация в одном месте выдающихся ученых — представителей различных научных направлений и школ — и большого числа молодых исследователей произвела настоящий взрывоподобный эффект.

Сюда приезжали за опытом; аналогичные научные центры стали появляться не только в России, но и по всему миру. Наш Академгородок посетили многие выдающиеся политические и общественные деятели 1960—1970-х гг., такие как Шарль де Голль, Улоф Пальме и Раджив Ганди; крупные зарубежные ученые, научные делегации. Иностранцев ученых привлекали результаты, по-

лученные в принципиально новых или пограничных научных направлениях, на стыке наук. В Сибирском отделении были построены первые ускорители элементарных частиц на встречных пучках; генерированные в этой области идеи оказали огромное влияние на дальнейшее развитие мировой физики; здесь возродилась российская генетика, были созданы новые направления в химии и многое другое.

А потом наступило затишье, можно сказать, появилось даже некоторое разочарование. Например, в одном из номеров журнала «Nature», который вышел в конце 1980-х гг. — в период кризиса и спада в СССР — и был целиком посвящен советской науке вообще и Академгородку в частности, говорилось о том, что наша наука,

включая людей и оборудование, «постарела», что нет новых идей... И хотя эти утверждения были, по-видимому, сознательным искажением фактов, доля истины в них содержалась. Потребовались чрезвычайные усилия, чтобы переломить ситуацию, хотя в этом направлении еще много предстоит сделать.

Пережив вместе со всей страной тяжелые времена, сибирская наука вышла на новый этап развития. Мы многого смогли добиться за последнее десятилетие. Это выражается и в обновлении научного оборудования, и в создании новых уникальных установок, и в активизации работы с нашими зарубежными партнерами. Наука в Сибири вновь стала объектом пристального внимания, но сегодня наибольший интерес к совместному сотрудничеству проявляют не только США и Европейское Сообщество, но и азиатские страны — Китай, Корея и Япония. Нам есть что предложить нашим потенциальным партнерам: уникальные фундаментальные и прикладные разработки в области физики, механики, молекулярной биологии и медицины, катализа, нанотехнологий, технологий освоения минеральных ресурсов и др.

Пятьдесят лет — возраст наступления зрелости, и юбилей служит хорошим поводом для того, чтобы осмыслить прошлое, понять настоящее и взглянуть в будущее.

Качество — «нобелевское»

Во всем мире состояние науки часто оценивают по работам, удостоенным Нобелевской премии или достигшим ее уровня. Пока лишь один ученый Сибирского отделения получил этот самый престижный научный «приз»: в 1975 г. лауреатом Нобелевской премии по экономике за вклад в теорию оптимального распределения ресурсов стал академик Л. В. Канторович, развернувший

всесторонние исследования по линейному программированию и теории оптимального планирования экономики. И сегодня научным «стержем» деятельности Института экономики и организации промышленного производства являются экономические балансовые расчеты на основе усовершенствованных математических моделей.

В качестве примера можно привести целый ряд исследований наших ученых, вполне заслуживающих Нобелевской премии с точки зрения мировой научной общественности. В первую очередь это исследования ученых школы академика Г. И. Будкера, связанные с ускорителями частиц на встречных пучках, и разработка метода электронного охлаждения пучков тяжелых частиц, который нашел применение в накопителях протонов, антипротонов и тяжелых ионов во всем мире. Эти пионерские работы были выполнены в Институте ядерной физики, который, безусловно, является одним из мировых лидеров в области физики ускорителей, физики высоких энергий и физики плазмы. Одна из последних уникальных разработок института — мощный лазер на сво-



ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич — академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, вице-президент РАН, председатель Сибирского отделения РАН с 1997 г.



1966 Президент Франции Шарль де Голль: «Слава Академгородка благодаря важности осуществляемых здесь работ, а также благодаря той высокой идее, которой определялось его создание, давно распространилась по всему миру. Здесь нашло свое смелое выражение сочетание современного ума и традиции...»



1957 Вышло постановление Совета министров СССР о создании Сибирского отделения Академии наук СССР

бодных электронах, открывающий огромные перспективы как для принципиально новых междисциплинарных фундаментальных исследований, например в химии и биологии, так и для создания новых технологий.

Еще один лидер в области физических наук — Институт сильноточной электроники (Томск), где учеными научной школы, созданной академиком Г. А. Месяцем, было открыто явление взрывной электронной эмиссии, которое легло в основу целого класса сильноточных ускорителей плотных электронных и ионных пучков, а также импульсных источников рентгеновского излучения.

Спиновая химия — новое направление в химии, базирующееся на теории слабых взаимодействий, — во многом обязана своим возникновением научной школе академика В. В. Воеводского (Институт химической кинетики и горения), воспитавшего плеяду выдающихся учеников, которые впоследствии создали собственные научные направления. Достижения в этой области уже несколько раз номинировались на Нобелевскую премию, а сейчас выдвинуты на Государственную премию РФ в области науки и техники.

Среди исследований по органической химии необходимо отметить работы, которые велись под руководством академика В. А. Коптюга. Они посвящены



Академик М. А. Лаврентьев — один из основателей и первый председатель Сибирского отделения АН СССР (1957—1975 гг.) — на строительстве Института гидродинамики в Новосибирском академгородке

Новосибирский академгородок стал первым удачным экспериментом по созданию центров фундаментальной науки и образования



Только что созданное Сибирское отделение АН СССР поначалу размещалось в центре Новосибирска, в здании, которое до этого занимал его предшественник, Западно-Сибирский филиал Академии АН СССР



Академики С. А. Христианович, (на фото справа), С. Л. Соболев (на фото слева) и М. А. Лаврентьев стали инициаторами создания на Востоке страны крупных научных центров Академии наук СССР

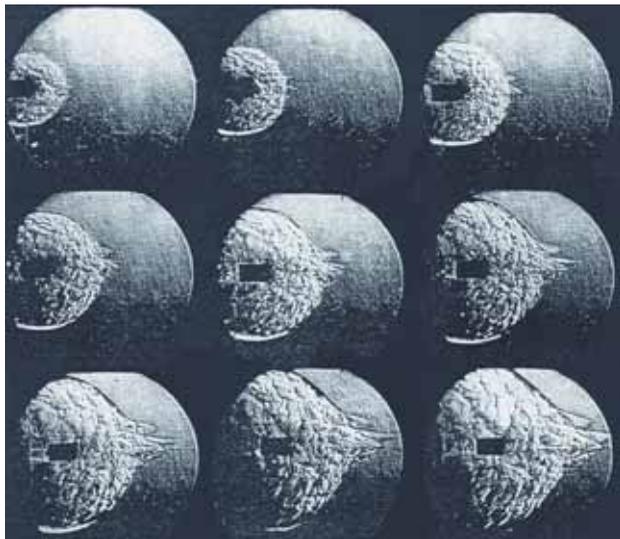
изучению катионных переходных состояний, возникающих при изомеризации ароматических соединений и их моделей — долгоживущих карбокатионов. Однако в 1994 г. Нобелевскую премию получил Дж. Ола, возглавляющий американскую научную школу — вторую в мире, — причастную к достижениям в области химии карбокатионов.

Международное признание получили и исследования по синтезу ген-направленных биологически активных соединений на основе олигонуклеотидов (фрагментов ДНК). Эти работы, начатые под руководством академика Д. Г. Кнорре, стали основой перспективного направления в биохимии, связанного с созданием лекарств нового поколения. Сегодня исследования по этой

тематике ведутся в Институте химической биологии и фундаментальной медицины: недаром его сотрудники высоко котируются во всем мире.

Как известно, Нобелевская премия не присуждается в области математики и геологии. Тем не менее, высочайшей оценки заслуживают работы наших математиков, и не только основателей Сибирского отделения — академиков М. А. Лаврентьева и С. Л. Соболева, — но и более молодых ученых, например академика Ю. Л. Ершова, посвященные специальным алгебраическим приложениям, также недавно удостоенные Государственной премии РФ.

Настоящими открытиями века стали три крупнейших нефтегазоносных бассейна: Западно-Сибирский,



Сибирякам принадлежит ряд крупных приоритетных результатов в разработке теоретических основ и средств моделирования высокоскоростных процессов.

На кинограмме показан процесс инициирования в твердом материале детонационной волны быстролетающим телом (пулей)

Восточно-Сибирский и Лено-Енисейский. В этом огромная заслуга научной школы академика А. А. Трофимука; причем некоторые открытия были сделаны учеными, как принято говорить, «на кончике пера». Сибирские месторождения — будущее нефтяной и газовой промышленности России; их освоение в ближайшие 20 лет станет крупнейшим энергетическим проектом не только в России, но, пожалуй, и во всем мире.

Нельзя обойти вниманием и открытие в зоне вечной мерзлоты газогидратов, т. е. газов в твердом состоянии. Как сейчас установлено, газогидраты имеют очень широкое распространение по планете: так, на шельфе океанов и в прибрежных мелководных морях их запасы превышают общий объем всех горючих ископаемых, обнаруженных на суше. Это открытие обеспечило человечество практически неисчерпаемыми ресурсами углеводородов: кто первым создаст технологию по добыче и использованию этого топлива будущего, тот овладеет миром...

Государственной премией РФ за 2005 г. отмечены открытие и исследования памятников древней пазырыкской культуры на Горном Алтае, осуществленные под руководством академика В. И. Молодина и доктора исторических наук Н. В. Полосьмак из Института археологии и этнографии. Эти находки — лишь часть уникальных научных результатов, полученных сибирской археологической школой, у истоков которой стоял академик А. П. Окладников.



1975 Присуждена Нобелевская премия по экономике академику Л. В. Канторовичу

Научными достижениями, о которых говорилось выше, отнюдь не исчерпываются все успехи, достигнутые за прошедшие пятьдесят лет научными коллективами Сибирского отделения РАН, но в таком кратком очерке невозможно объять «необъятное». Сейчас стоит поговорить о другом — о том, что стало залогом успеха столь небывалой «экспансии» науки в Сибирь.

Главное — люди

Я хочу начать не со всем известного «треугольника Лаврентьева», отражающего триединую задачу Сибирского отделения: подготовку кадров, междисциплинарные исследования и внедрение научных дости-

жений в промышленность. Я начну с «человеческого фактора», а именно: с научных школ, созданных большой группой крупных ученых, которые приехали в Сибирь вместе со своими молодыми учениками. Люди, составившие этот «научный десант», были не просто выдающимися исследователями, — в Сибирь поехали те, у кого не было возможности полностью реализовать себя в столичных центрах: Москве, Питере, Киеве, но были неожиданные идеи, касающиеся как самой науки, так и организации научных исследований. Именно научные школы, созданные на принципиально новом уровне и обладающие максимально допустимой свободой научного поиска, стали не только важнейшей первоначальной точкой отсчета, но и фундаментом всех дальнейших достижений.



Первый ускоритель на встречных пучках Института ядерной физики стал родоначальником ряда экспериментальных и промышленных ускорительных установок.

Справа на фото — ускорительный туннель ВЭПП-4 длиной около 50 м

Справа на фото — ускорительный туннель ВЭПП-4 длиной около 50 м



В пультовой ВЭПП-4. В. Сидоров, И. Протопопов, С. Попов, А. М. Будкер, А. Скринский, В. Петров

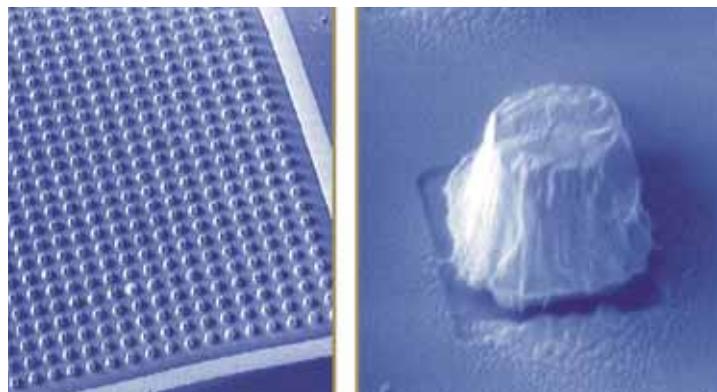
И сегодня научные школы — те, начало которым было положено в 1960-е, и новые, появившиеся в последние десятилетия, — являются нашей основой и нашей надеждой. Раньше по ряду причин мы стремились оставить у себя всех, кого обучили, но уже на начальном этапе реорганизации Сибирского отделения мы провозгласили так называемую «проточную систему». Суть ее состоит в том, чтобы к нам приходило как можно больше молодых ученых, которые должны учиться в магистратуре и аспирантуре, защищать кандидатские диссертации. И пусть не все из них останутся в наших академических институтах, а многие поменяют место работы, сферу деятельности... За счет такой системы мы сможем привлекать к активной работе большое число молодых и сохранять влияние на другие российские, а в последнее время и на зарубежные исследовательские организации.

В этом смысле нам не страшна «утечка мозгов», поскольку на место уехавших приходят новые поколения из нашего Новосибирского госу-

дарственного университета — неотъемлемой части Сибирского отделения. Не будь этого действительно уникального образовательного учреждения, подобное восполнение было бы невозможно: очень многие российские научные школы увядают именно по данной причине.

И вот тут мы подходим к первой из сторон «треугольника» — кадровому вопросу. Непрерывный отбор и пополнение кадров Сибирского отделения всегда осуществлялись не только за счет НГУ, но также благодаря физмат-школе и знаменитым всесибирским олимпиадам. Напомню, что на основе филиалов НГУ были созданы Красноярский и Бурятский государственные университеты; да и многие другие вузы Сибири, Дальнего Востока и Урала испытали на себе его влияние. Например, очень много для повышения

Полупроводниковая структура — фотоприемная матрица с индиевыми столбцами высотой 5 мкм, созданная на основе передовых технологий



уровня преподавания математики сделала сибирская математическая школа: практически все нынешние заведующие вузовскими кафедрами математики либо окончили НГУ, либо защитили диссертации в институтах Сибирского отделения. Наши учебники для физматшколы по математике, как, впрочем, и по другим дисциплинам (физике, биологии), сегодня являются одними из лучших в мире. Их переводят на иностранные языки, но почему-то не в полной мере используют в России: в нашем отечестве пророки часто бывают не в чести.

Подобная система подготовки научных кадров обеспечила непрерывную подпитку академических учреждений талантливыми молодыми учеными, которые вливались в научные школы и способствовали их дальнейшему развитию.

Следующая важная сторона деятельности нашего отделения — сама организация науки, а именно: интеграционные междисциплинарные исследования, поиск новых открытий на стыке наук, на «непаханом поле». Основатели Сибирского отделения гениально воплотили в жизнь идеи, высказанные еще М. В. Ломоносовым в «Записке о не-

Тераваттный генератор электрических импульсов ГИТ-12. По радиусу расположены двенадцать накопительно-коммутационных модулей генератора, внизу в центре — узел нагрузки и система диагностики

обходимости преобразования Академии наук»: «Часто требует астроном механика и физикова совета, ботаник и анатомик — химикова, алгебраист пустого не может всегда выкладывать, но часто должен взять физическую материю и так далее. Того ради, советуясь друг с другом, всегда должны будут иметь дружеское согласие. Вольность и союз наук необходимо требуют взаимного общения и беззаветного позволения в том, кто что знает, упражняться...» На первых этапах развития Сибирского отделения такое взаимодействие дисциплин проявлялось в виде широкого внедрения математических методов в различные области знания, но в дальнейшем оно приобрело гораздо более широкий масштаб. Наши современные интеграционные проекты объединяют специалистов самых разных наук: физиков и химиков, физиков и биологов, химиков и биологов, экономистов и математиков...

И наконец, последняя сторона «треугольника Лаврентьева» — внедрение результатов научных достижений в практику. Наряду с фундаментальными исследованиями, ученые и руководители Сибирского отделения не забывали и о второй главной задаче — использовать накопленный научный потенциал для ускорения развития производительных сил региона и всей страны. Именно для этой цели в проектах большинства институтов изначально предусматривалось опытно-экспериментальное производство, создавался ряд конструкторско-технологических организаций и Опытный завод.

Конечно, принцип необходимости внедрения научных достижений в практику, как и все другие наши основополагающие принципы, значительно эволюционировал за 50 лет существования Отделения. Сначала мы выполняли конкретные задания правительства: например, обезопасить г. Алма-Ату от селей, разработать методы борьбы с заторами на Енисее и Лене, создать сибирскую озимую пшеницу и т. д. Данные задачи были успешно решены, хотя, к сожалению, нынешние руководители об этом почти не знают.

В результате дальнейшего расширения взаимодействия с сибирскими и европейскими заводами был



Научная школа академика В. А. Коптюга — председателя СО РАН в 1980—1997 гг. — внесла определяющий вклад в развитие теории перегруппировок в молекулах органических соединений через образование карбокатионов. Подобные перегруппировки представляют большой практический интерес, поскольку позволяют получать сложные или труднодоступные соединения

создан и внедрен в практику целый ряд уникальных разработок, таких как ванадиевый катализатор, который заменил дорогостоящую платину и совершил настоящий переворот в производстве серной кислоты. И это лишь один из примеров работ школы академика Г. К. Борескова (Институт катализа), получивших всемирную известность в своей области.

Подобное взаимодействие развивалось в виде так называемого «пояса внедрения», создаваемого вокруг Академгородка совместно с ведущими промышленными предприятиями и состоящего из различных конструкторских бюро. Основные работы в то время были направлены на обеспечение обороноспособности и безопасности страны.

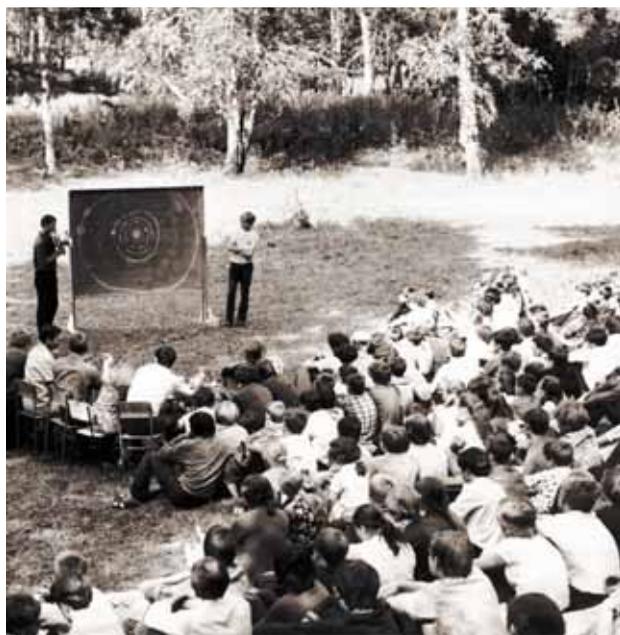
В наше время, после некоторого спада, начался третий этап, в ближайшем будущем ориентированный на развитие технопарков — особых экономических зон,



Международную известность получили работы по созданию направленного химического воздействия на генетический материал с помощью олигонуклеотидов — коротких фрагментов нуклеиновых кислот. На фото — будущий доктор химических наук Г. Карпова



Открытие газогидратов обеспечило человечество мощным альтернативным источником энергетического сырья. На фото — газовый гидрат метана из байкальских донных отложений



1959 Образован Новосибирский государственный университет

В Сибирском отделении Академии наук выстроена уникальная система фундаментального образования. На фото — защита «фантастических» проектов летней физико-математической школы (Новосибирск)

а также на сотрудничество с крупными компаниями, создание малых и средних предприятий на базе исследовательских групп, которые отделяются от наших институтов и от кафедр НГУ.

Мощный научный потенциал Сибирского региона сыграл важную роль в создании Западно-Сибирского нефтегазового комплекса и КАТЭКа, в строительстве БАМа и освоении алмазных месторождений Якутии, а также в том, что была начата эксплуатация гигантских

нефтегазовых месторождений нового типа в Восточной Сибири и т. д. Вот один из недавних примеров: разработанный в Институте теоретической и прикладной механики автоматизированный комплекс по лазерной резке металла на основе мощного CO₂-лазера, благодаря которому можно разрезать стальные, титановые и другие сплавы практически любой толщины. И хотя подобных установок в мире уже много, наша установка имеет ряд преимуществ, прежде всего за счет большей мощности

лазера и высокого уровня управления процессом. Однако будущее — за лазерной сваркой. Являясь одними из лидеров в данной области, мы могли бы быстро выполнить подобную работу, если бы получили от государства конкретный заказ и необходимые средства.

Впереди паровоза

Каким будет путь нашего дальнейшего развития? Я так формулирую возможную стратегию: «перегонять, не догоняя», т. е. сосредоточивать усилия на проведении исследований в тех научных нишах, которые пока не слишком заняты, а также осваивать новые, еще неисследованные области. Для этого существует несколько возможностей. Во-первых, продолжать работы на стыке наук, в том числе с использованием крупного уникального оборудования, такого как: лазер на свободных электронах, экспериментальные станции Сибирского центра синхротронного излучения, исследовательский комплекс Института солнечно-земной физики, аэродинамическую трубу Института теоретической и прикладной механики и др.

Подобный подход уже используется нами в одной из самых передовых научных областей — в нанотехнологиях. Понятно, что если работать «по всему фронту», у нас не хватит ни людей, ни финансов, почему так важно найти те самые ниши, где возможно осуществить прорыв. И многое в этом направлении уже сделано. Примером могут служить принципиально новые трехмерные наноструктуры (по так называемым технологиям Принца), которые открывают огромное поле для разнообразных технических решений, начиная зеркалом-невидимкой и кончая материалами, чувствительными к самым разным воздействиям. Те, кто судит по фамилии ученого, считают, что речь идет о какой-то зарубежной технологии, но доктор физико-математических наук В. Я. Принц является сотрудником нашего Института физики полупро-

водников. Вот свидетельство того, как в большом, почти безбрежном, океане можно найти свой путь...

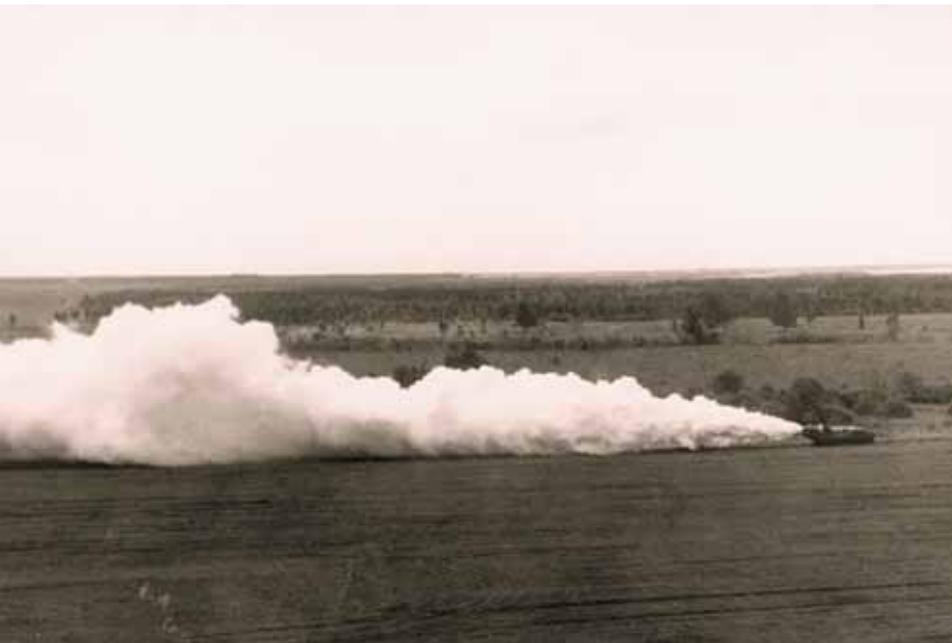
Второе стратегическое направление — изучение уникальных природных явлений и объектов, таких как озеро Байкал, бореальные леса, вечная мерзлота и др. Исследования в этой области, проведенные совместно с зарубежными коллегами, уже внесли весомый вклад в мировую науку, а в будущем нас, несомненно, ждут новые открытия.

Третий, самый непредсказуемый путь, — образование новых научных школ, зародышей для каких-то принципиально новых научных направлений, которые мы не можем сегодня оценить, но должны всячески «лелеять». Генерация новых нестандартных идей — вот, пожалуй, наилучший способ для быстрого развития и прорыва в любых областях знания.

Что касается тактических ходов, то необходимо сказать о центрах коллективного пользования. Эта идея, родившаяся в нашем Отделении, сейчас активно поддерживается Академией наук и Министерством

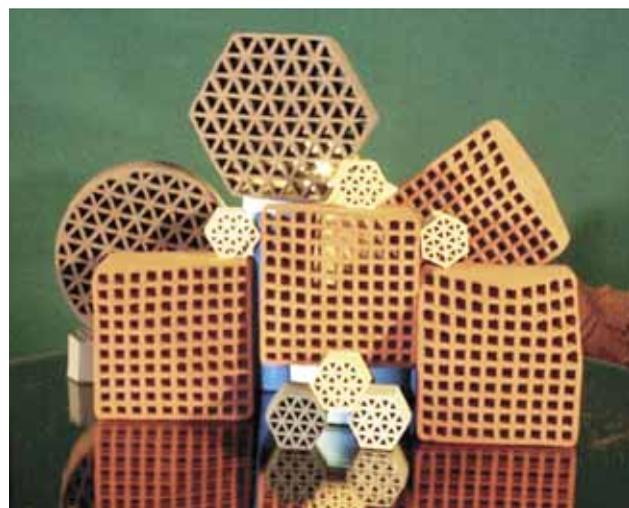


На алтайском плато Укок сибирские археологи открыли уникальные «замороженные» погребения пазырыкской культуры, в которых сохранились не только тела, но и текстиль, деревянная утварь, изделия из кожи и войлока



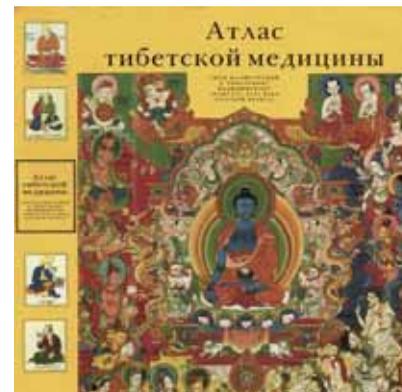
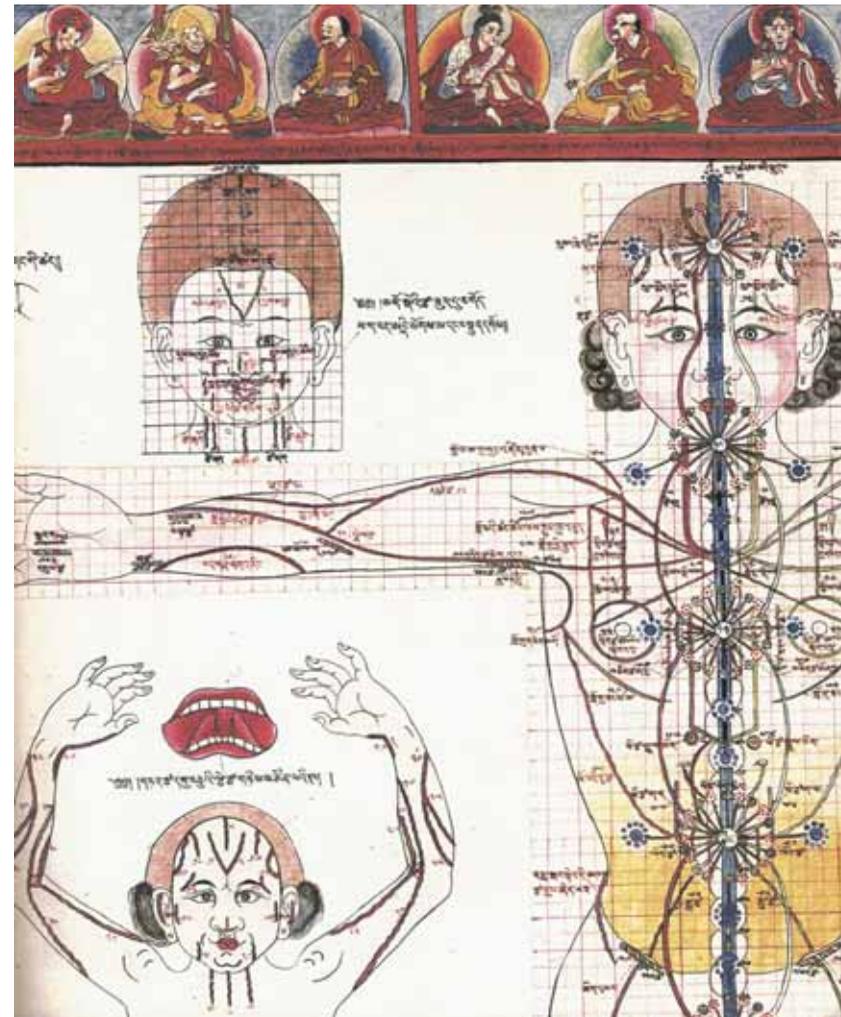
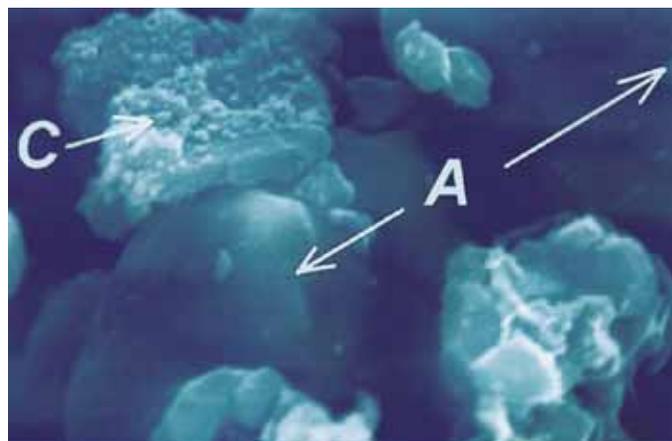
Полевые испытания мощного аэрозольного генератора, созданного для борьбы с насекомыми-вредителями

Один из промышленных высоковольтных ускорителей электронов типа ЭЛВ (электронов непрерывного действия), которые используются при производстве резиновых и полиэтиленовых изделий, для облучения кабелей и проводов, при обработке сточных вод, для дезинфекции зерна и т. п.



Блочный оксидный катализатор окисления аммиака, который не содержит платину и используется в производстве азотной кислоты

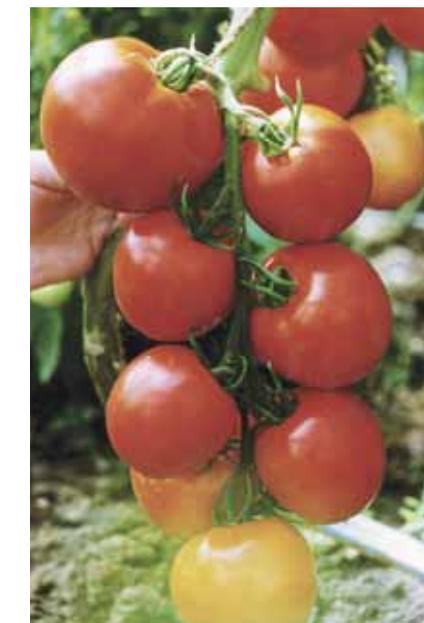
Микроструктура теплопроводного никелевого катализатора конверсии природного газа в водородсодержащий синтез-газ: А — матрица, С — активный компонент



Книга «Атлас тибетской медицины», созданная по медицинскому трактату XVII в., — результат многолетнего кропотливого труда ученых из Бурятского научного центра

образования и науки. Все началось с того, что мы подсчитали: в институтах необходимо на 80–90% обновить научное оборудование. Для этого требовалась сумма примерно в 250 млн долларов. Но если создавать центры коллективного пользования, то и новых приборов понадобится намного меньше! В этом году мы завершаем цикл полного обновления крупного научного оборудования, потратив на это вдвое меньше средств — 120 млн долларов.

На сегодняшний день перед нами стоит более грандиозная задача: создание новых крупных уникальных установок, принадлежащих к области так называемой «мега-сайнс», стоимостью в сотни миллионов и в миллиарды долларов. Одному Сибирскому отделению осуществить эту задачу, безусловно, не под силу. Единственно возможный путь — общероссийская государственная поддержка и/или международная кооперация. Примером таких установок может служить коллайдер, который строится в ЦЕРНе с участием многих европейских стран и в который немало сил вложила также Россия



Новый сорт томата «Дельта-264», выведенный Центральным сибирским ботаническим садом: масса плода — до 230 г; устойчив к вредителям; обладает отличными вкусовыми качествами



Под вращающимся куполом укрылся самый большой в мире коронограф Саянской солнечной обсерватории



Величайшее пресноводное озеро Байкал является уникальной природной лабораторией, а также международным исследовательским полигоном для ученых самых разных специальностей

в лице нашего Института ядерной физики. Так что, если мы хотим создать что-то принципиально новое, нужно приложить чрезвычайные усилия. Удается ли в ближайшем будущем реализовать подобные проекты, покажет жизнь.

И конечно, как Москва — это не вся Россия, Сибирское отделение — это не только и не столько Новосибирский академгородок, сколько единая система, включающая в себя девять научных центров, каждый из которых может быть назван уникальным. Характерная черта нашего научного объединения — обратная связь. Любые проблемы, возникающие в том или ином институте, в том или ином регионе, становятся нашим «общим достоянием» и могут быть решены в совместных исследованиях с другими нашими организациями.

2006 Под Красноярском открыта станция слежения за парниковыми газами

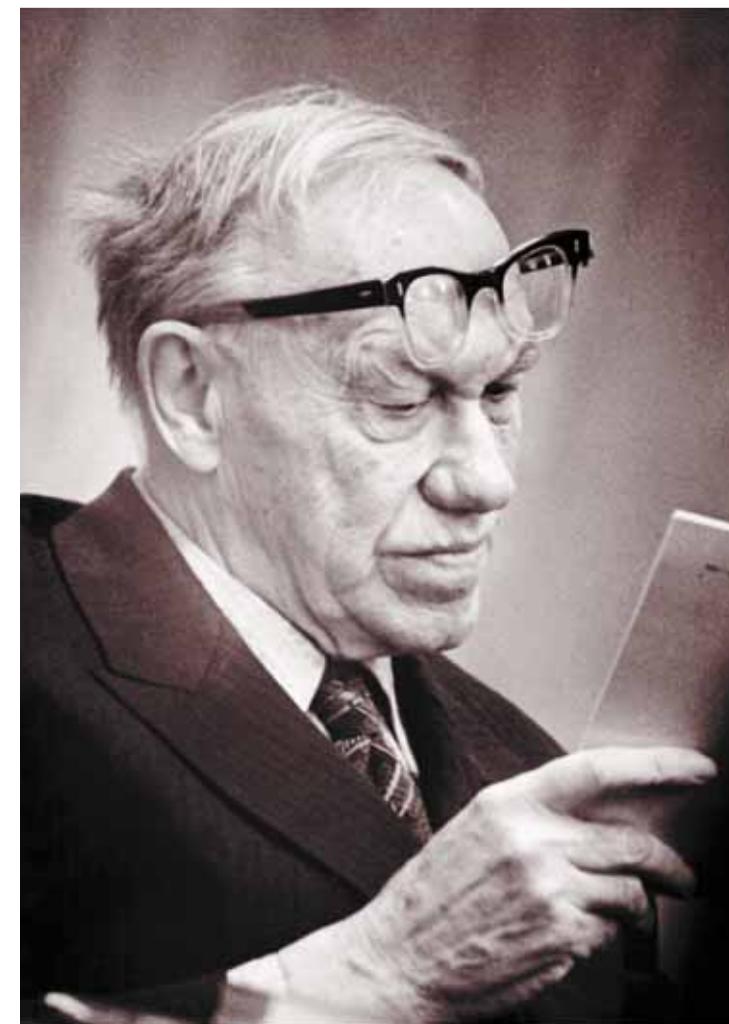
Наша система включает в себя также сеть научных станций: сейсмических (кстати, это половина всех сейсмических станций Академии наук), мерзлотных, гелиогеофизических (в том числе с установками мирового и национального масштаба), геосферных и биосферных. Наша сеть обеспечивает непрерывные ряды наблюдений на территории в 11 млн км² и является частью мировой системы мониторинга; не будь ее, вся Сибирь стала бы для мира «белым пятном», и ни одну планетарную модель, ни одну общемировую базу данных невозможно было бы построить.

Мы всегда старались идти новыми, непроторенными путями, за что в Академии нас иногда даже упрекали: дескать, «бегут впереди паровоза». Это относится и к организации конкурса базовых проектов, и к концентрации кадровых и финансовых ресурсов на главных научных направлениях. Программа фундаментальных исследований всех госакадемий, которая сегодня формируется, может опереться на наш опыт: никакого другого просто нет. Даже программы Президиума Академии наук и отделений появились после того, как мы осуществили два цикла наших интеграционных проектов. И пусть подобное авторство не всегда находит признание — главное, что Сибирское отделение РАН (как и другие региональные отделения) и впредь может служить опытной площадкой для испытания важных, а иногда и судьбоносных решений, имеющих отношение к развитию науки.

Что касается перспектив Сибирского отделения, то его будущее неразрывно связано с судьбой всей Российской академии наук. В начале реформ, как все помнят, в верхах существовало мнение, что науки слишком «много», поэтому она требует кардинального сокращения и реконструкции. И только к началу XXI в. на государственном уровне стали признавать, что у России без высоких технологий, а значит и без науки, нет будущего.

В качестве же напутствия новым поколениям сибирских ученых стоит привести удивительно точные слова ставшего уже легендой первого пред-

седателя СО АН СССР, академика М. А. Лаврентьева: «Когда меня спрашивают, от чего, на мой взгляд, зависит будущее Сибирского отделения, я отвечаю: от того, насколько удастся удержать гармоничное триединство «наука — кадры — производство». Преобладание любого из этих начал приведет к застою и регрессу. Эта гармония не есть рецепт изготовления вкусного блюда, когда известно точно количество каждого компонента. Она должна быть плодом коллективных усилий ученых с участием руководящих работников промышленности и органов власти. Время будет вносить определенные коррективы. Но принципы, доказавшие свою плодотворность, должны еще поработать и после нас».



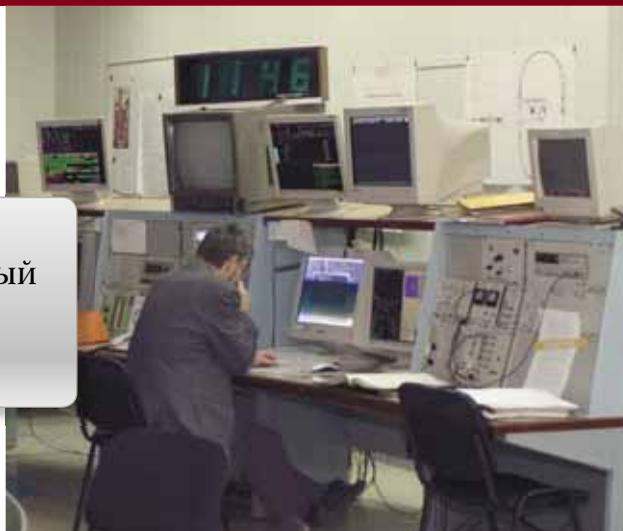
Академик М. А. Лаврентьев — председатель Сибирского отделения АН СССР в 1957—1975 гг.



Ускорители частиц — микроскопы современной физики



1964 Создан первый ускоритель на встречных пучках



Самым удивительным открытием прошлого века стало открытие того, что ядра атома состоят из нуклонов — нейтронов и протонов, — а те, в свою очередь, — из кварков. Вместе с электронами кварки лежат в основе мироздания, являясь теми элементарными «кирпичиками», которые, по нынешним представлениям, составляют вещество.

Исследовать элементарные частицы сложно: их нельзя увидеть в микроскоп, нельзя долго хранить... Выход из этой ситуации — в высокоэнергетических взаимодействиях стабильных частиц, в результате которых могут рождаться новые элементарные структуры, а их свойства уже можно исследовать. Высокий уровень кинетической энергии частиц достигается в огромных установках — *ускорителях*, где они разгоняются до скорости, близкой к скорости света.

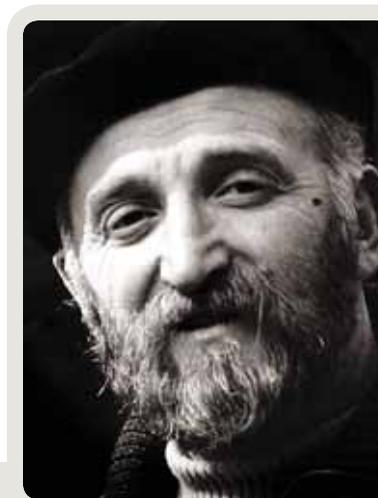
Счастливая «встреча»

Классические ускорители высоких энергий, в которых пучок быстрых частиц бомбардировал неподвижную мишень, оказались велики, сложны и дороги. И потому сооружение подобных установок зачастую требовало усилий нации в целом. Проблема была решена с помощью метода так называемых *встречных пучков*. И хотя огромные энергетические преимущества встречных пучков в создании новых тяжелых частиц были очевидны, в середине прошлого века идея использовать вместо плотной мишени крайне разреженный пучок частиц большинством физиков воспринималась как дело неопределенно далекого будущего.

Работать над методом встречных пучков начали многие, однако к успешному финишу — проведению экспериментов по электрон-электронному рассеиванию в 1965 г. — пришли только два центра: американский Стэнфордский университет и Институт ядерной физики в Новосибирске, образованный в 1958 г. на базе лаборатории Института атомной энергии под руководством Г. И. Будкера. Этим событием было озаглавлено появление нового направления в экспериментальной физике элементарных частиц.

Одним из самых больших затруднений, вставших на пути развития ускорительной техники на встречных пучках, была проблема получения плотных пучков тяжелых частиц с малым угловым и энергетическим разбросом. Идея, выдвинутая на обсуждение Будкером в 1966 г., оказалась гениально простой: параллельно пучку тяжелых частиц пускать пучок электронов с той же средней скоростью и достаточно низкой температурой. При этом частота парных столкновений частиц резко возрастает, и тяжелые частицы «охлаждаются», передавая часть энергии электронам. Метод *электронного охлаждения*, впервые опробованный в ИЯФе в 1974 г. в ходе экспериментов с пучком протонов, сегодня широко используется во многих мировых ускорительных центрах.

Метод встречных пучков стал наиболее эффективным методом исследования структуры микромира, а ускорители на его основе — одними из основных источников информации об элементарных частицах.



Г. И. БУДКЕР — академик АН СССР, выдающийся физик, основатель и первый директор Института ядерной физики СО АН СССР. Основные научные интересы — физика высоких энергий и физика управляемого термоядерного синтеза

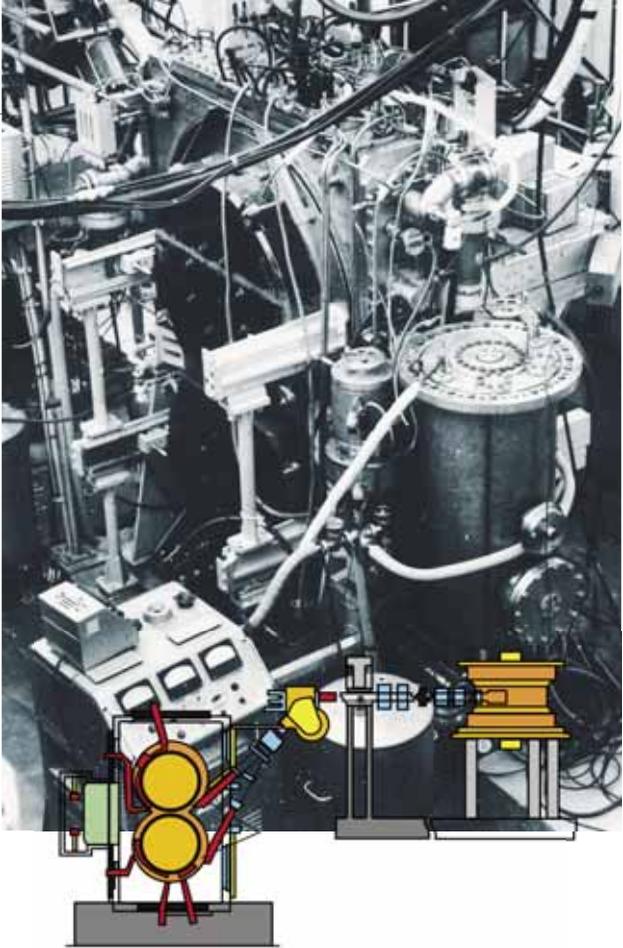
Одна из основных тенденций в развитии современной физики — получение все более и более высоких энергий на ускорителях заряженных частиц, чтобы повысить энергию реакции взаимодействия частиц. Со времен Резерфорда схема таких экспериментов не менялась: пучок быстрых частиц бомбардировал неподвижную мишень. Но эта схема очень неэффективна при высоких энергиях, когда частицы разгоняются до околосветовых скоростей. Масса «частиц-снарядов» при такой скорости резко увеличивается и становится существенно больше массы частиц мишени. Когда тяжелый снаряд ударяет в легкую частицу мишени, то лишь незначительная часть его энергии, полученной такой дорогой ценой, идет на саму реакцию. «Львиная доля» расходуется просто на движение обеих частиц.

Мы решили идти по другому пути — сделать мишень подвижной и сталкивать два пучка частиц, разогнанных до одинаковой энергии. В этом случае массы «снаряда» и «мишени» остаются равными, и они могут всю свою энергию превратить в энергию взаимодействия.

Очень важно, что при скоростях частиц, близких к скорости света, эффект взаимодействия встречных частиц увеличивается не вчетверо, как следовало бы по механике Ньютона, а в значительно большее число

раз. Например, при столкновении двух электронов, мчащихся навстречу друг другу с энергией в миллиард электронвольт, эффект взаимодействия оказывается таким же, как у обычного ускорителя на энергию в 4 000 миллиардов электронвольт. Сама по себе идея ускорителей на встречных пучках не нова, и в ней нет никаких научных откровений. Это простое следствие теории относительности Эйнштейна. Многие высказывали эту идею и до нас, но, как правило, пессимистически относились к возможности ее реализации. И это понятно. Ведь плотность «подвижной мишени» — пучка частиц в обычных ускорителях — в сотни миллионов миллиардов (единица с семнадцатью нулями) раз меньше плотности неподвижной мишени. Столкнуть две частицы — задача по сложности примерно такая же, как «устроить» встречу двух стрел, одну из которых выпустил бы Робин Гуд с Земли, а вторую — Вильгельм Телль с планеты, вращающейся вокруг Сириуса. Но выгоды встречных пучков по сравнению с обычными методами столь велики, что мы решили все-таки преодолеть трудности. Для этого потребовалось увеличить плотность пучков и заставить их много раз проходить друг через друга*.

*Газета «За науку в Сибири», 14 янв. 1970



ВЭПП-1, первый ускоритель на встречных электронных пучках, созданный в ИЯФе к 1964 г., состоял из двух колец радиусом всего 43 см. Однако по энергии взаимодействия он был эквивалентен классическому ускорителю на 100 млрд эВ: такой энергии не давала ни одна из существующих в то время установок. На фото (слева направо) — участники первого запуска: Г.Н. Кулипанов, С.Г. Попов, А.Н. Скринский и Г.М. Тумайкин



1974 Проведен первый эксперимент по охлаждению пучка протонов

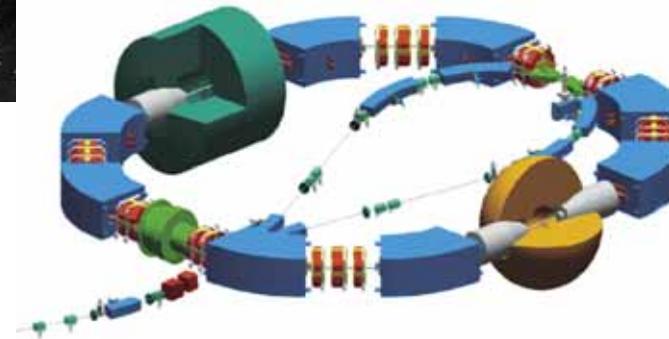
Ускорители большие и малые

Первая установка на встречных пучках ВЭПП-1 стала родоначальником целой линейки ускорителей ИЯФа. Эти ускорители не самые большие в мире, но тот факт, что в институте умеют производить подобную технику, позволил ему участвовать в создании для зарубежных научных объединений действительно больших машин — первоклассных инструментов, необходимых для познания устройства мироздания. Например, для большого адронного коллайдера LHC, который строится на границе Швейцарии и Франции в ЦЕРНе (Европейском центре ядерных исследований), было изготовлено несколько сот магнитов и сверхпроводящих шин. За производство этой продукции в качестве признания ИЯФ получил от своих швейцарских коллег знак качества «Золотой адрон».



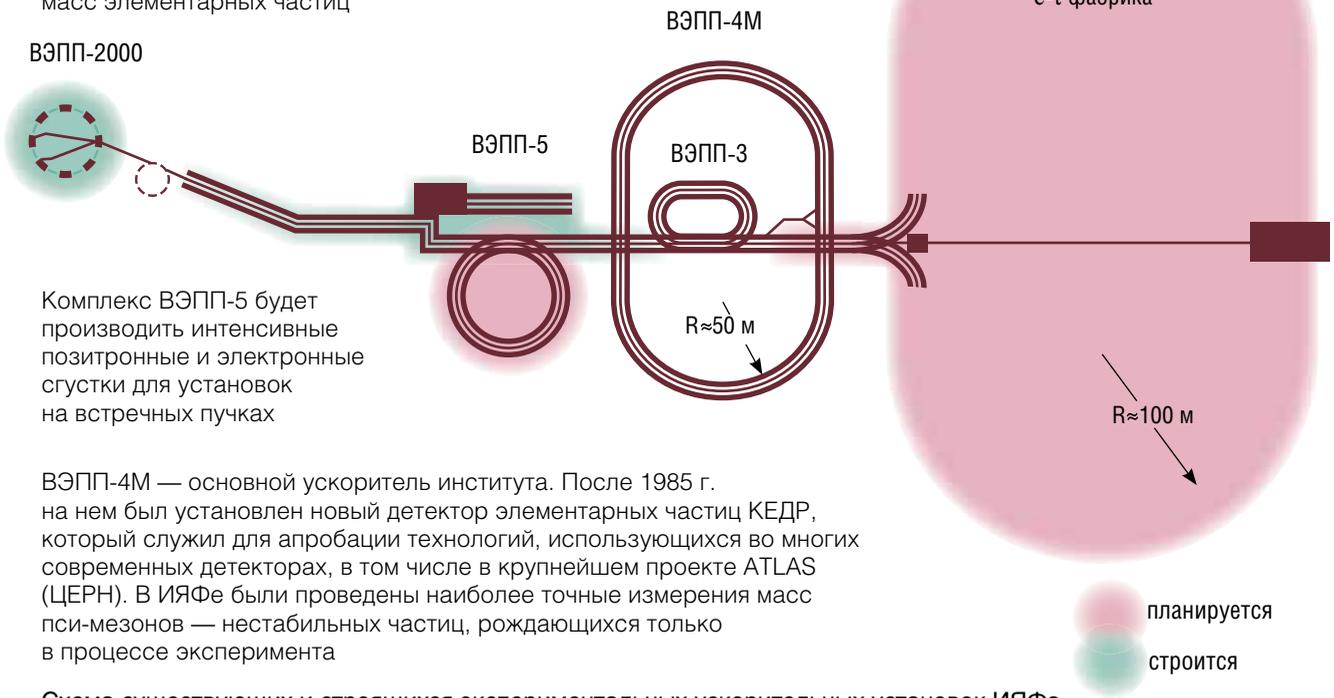
Празднование рождения ипсилон-мезонов на ускорителе ВЭПП-4. 30 апреля 1982 г.

Новое ускорительное кольцо ВЭПП-2000



Подробнее на: www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/ в разделе «Физико-технические науки»

ВЭПП-2000 — модернизирующийся комплекс ВЭПП-2М, на котором впервые в мире наблюдался процесс радиационной самополяризации пучков. На основе этого явления в 1974 г. был разработан и внедрен на практике метод прецизионного измерения энергии электронов, с успехом использующийся во всем мире для измерения масс элементарных частиц



Комплекс ВЭПП-5 будет производить интенсивные позитронные и электронные сгустки для установок на встречных пучках

ВЭПП-4М — основной ускоритель института. После 1985 г. на нем был установлен новый детектор элементарных частиц КЕДР, который служил для апробации технологий, использующихся во многих современных детекторах, в том числе в крупнейшем проекте ATLAS (ЦЕРН). В ИЯФе были проведены наиболее точные измерения масс пси-мезонов — нестабильных частиц, рождающихся только в процессе эксперимента

Схема существующих и строящихся экспериментальных ускорительных установок ИЯФа



А.Н. СКРИНСКИЙ — академик РАН, ученик и преемник Г. И. Будкера на посту директора Института ядерной физики СО РАН, специалист в области физики ускорителей и физики высоких энергий

Сейчас, более чем через 40 лет после создания в Новосибирске Института ядерной физики, можно с удовлетворением констатировать, что научные и организационные идеи, которые легли в его основу, оказались весьма плодотворными. В частности:

- Встречные пучки, впервые реализованные в ИЯФе, сегодня являются главным источником экспериментальной информации в физике фундаментальных свойств материи.
- Электронное охлаждение, предложенное и развиваемое в ИЯФе, стало важным средством повышения качества и прецизионности экспериментов по физике ядра, физике элементарных частиц и даже по атомной физике. Такие установки используются во многих лабораториях мира, в том числе с участием ИЯФа.
- Предложенный и разработанный в ИЯФе метод повышения точности измерения масс элементарных частиц на основе резонансной деполяризации позволил установить прецизионную шкалу масс во всем диапазоне энергий вплоть до 100 ГэВ.
- Разработанный в ИЯФе метод генерации когерентного электромагнитного излучения на основе ускорителей-рекуператоров развивается во многих лабораториях мира и позволяет получать рекордные средние мощности подобного излучения, которые сегодня приносят важные результаты в разнообразных областях науки.
- Предложенные в ИЯФе подходы к получению рентгеновских изображений позволяют радикально снизить лучевую нагрузку при медицинских обследованиях и практически без угрозы для здоровья предотвратить возможность проноса взрывчатки, пластикового оружия, наркотиков в самолеты и в другие опасные места.

Говоря о достижениях ИЯФа в области создания ускорительной техники, нельзя не упомянуть промышленные ускорители, пусть эти скромные установки и не поражают воображение ни своими размерами, ни энергией частиц. Начиная с 1963 г. здесь была разработана и изготовлена серия специальных электронных ускорителей для радиационной обработки материалов, что открыло принципиально новые технологические возможности в разных областях народного хозяйства, включая сельское хозяйство и медицину.

Хорошим примером могут служить установки для ионной и протонной терапии рака, о чем писал еще Г. И. Будкер. Клинические исследования в этой области были начаты около 50 лет назад практически во всех развитых странах мира, в том числе и в России. К настоящему времени около 50 тыс. пациентов в мире пролечено с помощью ионной или протонной терапии. Основным ограничением для широкого применения подобных методик является отсутствие недорогих специализированных ускорительных комплексов. Согласно оценке экспертов, в наши дни идет процесс перехода от научно-исследовательских разработок к серийным установкам для массовой терапии онкологических заболеваний.

Такая установка разработана и сейчас производится в ИЯФе. Отличительной особенностью проекта протонно-углеродного комплекса является применение эффективного электронного охлаждения ионного пучка — метода, предло-

женного и впервые использованного именно в этом институте. Поскольку «холодные» ионные пучки имеют предельно малые поперечные размеры и разброс энергии, то применение этого метода позволяет увеличить интенсивность пучка, сократить стоимость и энергопотребление ускорительного комплекса, что должно отразиться на стоимости курса терапии.

На основе разработок для детектора элементарных частиц КЕДР в области электроники была создана малодозная цифровая рентгенографическая установка, которая за несколько секунд позволяет осуществить полное сканирование человека. При этом получаемая в течение сеанса доза меньше стандартной (при обычной флюорографии) почти в сто раз! Подобная установка может применяться не только в медицинских целях, но и для досмотра в аэропортах: благодаря высокой контрастности получаемого изображения на экране видно все, включая пластиковые предметы и предметы, попавшие в желудок. Если же немного увеличить дозу, то с помощью таких установок можно просвечивать даже автомобили



Подробнее на: www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/ в разделе «Физико-технические науки»



2004 Создан сверхмалодозный рентгенограф для досмотра пассажиров в аэропортах

Г. И. БУДКЕР:

«В процессе работы над нашими основными установками были созданы промежуточные — ускорители на средние и низкие энергии. <...>

Луч ускорителя оказался хорошим тружеником. Под воздействием облучения полиэтилен, например, становится прекрасной пластмассой и, сохраняя свою дешевизну, технологичность, великолепные изоляционные качества, приобретает также стойкость к высоким температурам. В институте хранится стальной лист толщиной в три сантиметра, на котором электронным лучом, выпущенным в воздух, выжжен полуметровой длины восклицательный знак. Он словно «восклицает», обращаясь к металлургам: «Вам предлагается новое мощное средство для сварки, резки и плавки!»

Большое значение мы придаем и работам по дезинсекции в элеваторах и зернохранилищах. Во всем мире огромное количество зерна погибает от амбарных вредителей. Между тем можно подобрать абсолютно безопасные для хлеба дозы облучения зерна, при которых амбарные вредители перестанут размножаться. <...>

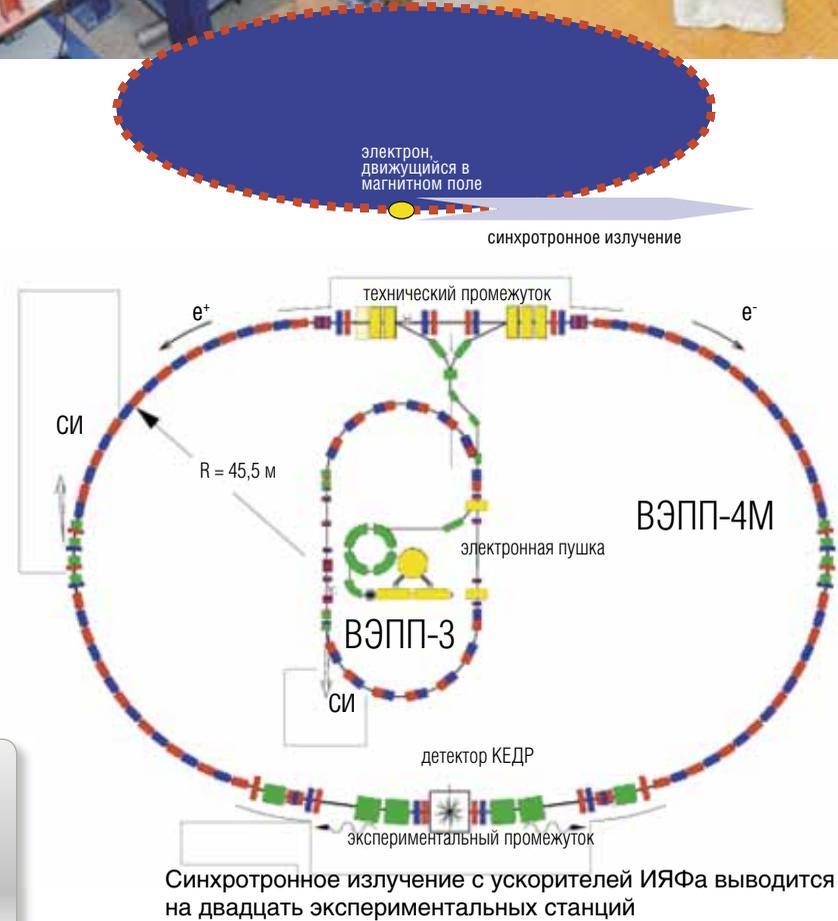
Важное применение могут получить ускорители протонов на энергию 200 млн вольт. Теоретически и экспериментально доказано, что лечение рака протонами гораздо эффективнее применяемой в настоящее время рентгено- и гамма-терапии. Однако обычные ускорители протонов на такие энергии очень сложны, дороги и недоступны для широкого использования в клиниках даже самых развитых стран. Поэтому создание дешевого и простого в обращении ускорителя протонов — важное и благородное дело.

Удивителен луч ускоренных частиц. Он ищет полезные ископаемые и стерилизует медикаменты, консервирует продукты и обеззараживает сточные воды. С его помощью можно передавать энергию на расстояния и просматривать толщину бетона и металла, создавать новые молекулы и даже атомные ядра, которых нет в таблице Менделеева. Наконец, с его и только с его помощью можно создать антивещество и новые элементарные частицы. Это кажется невероятным, но это так. Если же вдуматься, то здесь нет ничего странного. Небывалая концентрация энергии дает новое качество»*.

*Газета «Правда», 27 февр. 1969



Мастер-СИ



1981 Создан Сибирский центр синхротронного излучения



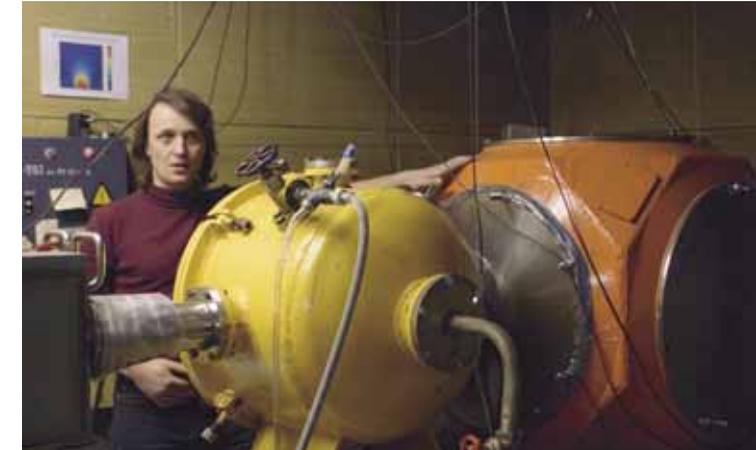
Многие годы Институт ядерной физики регулярно проводил международные конференции по синхротронному излучению и лазерам на свободных электронах

Какого цвета электрон? Конечно, этот вопрос — шутка, однако и в ней, как положено, есть доля правды: многие видели свет, излучаемый электронами (и даже одним электроном), циркулирующими в накопительном кольце ускорителя, и даже могут описать его цвет...

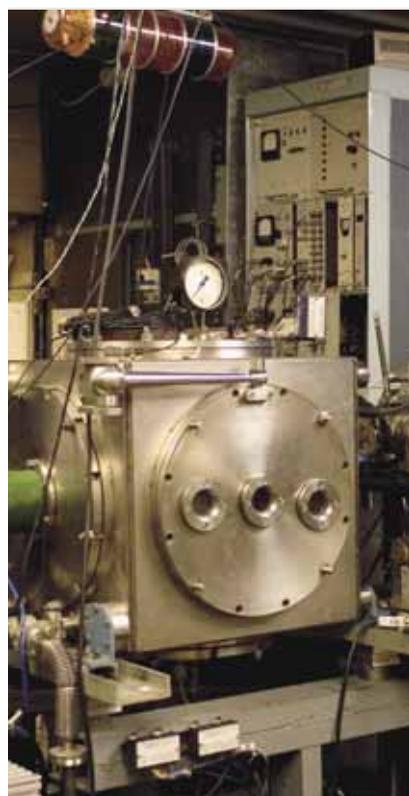
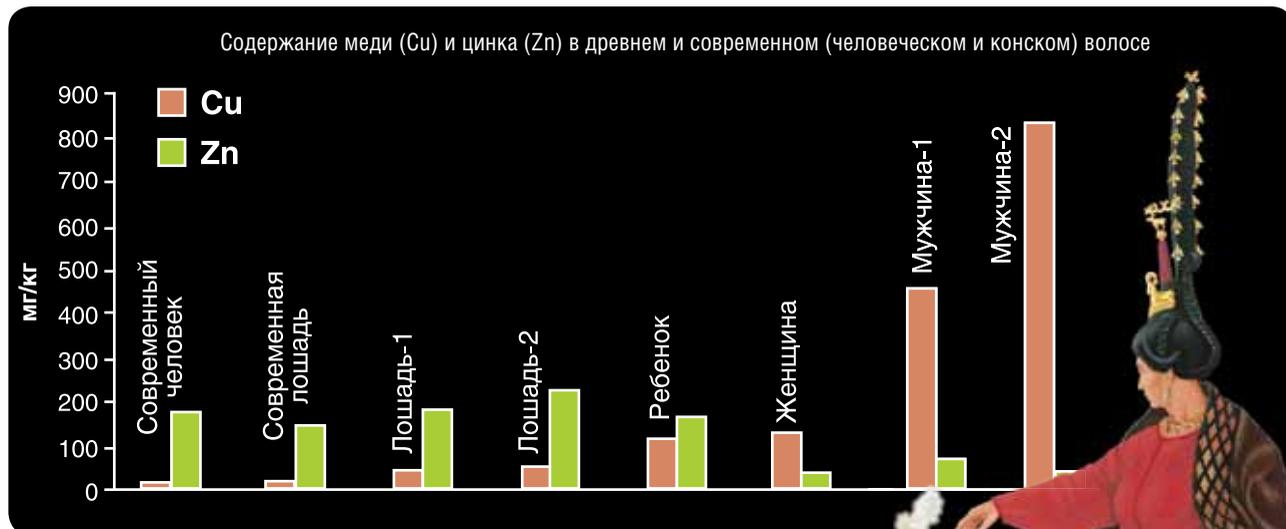
Речь идет о так называемом *синхротронном излучении (СИ)*, мощными источниками которого являются пучки заряженных частиц, движущихся в магнитном поле с релятивистскими скоростями. Благодаря своим уникальным свойствам: широкому спектральному диапазону, большой мощности, высокой яркости источников, естественной поляризации — СИ сегодня используется для решения самых разных фундаментальных и прикладных задач.

Центры синхротронного излучения, которых в мире сейчас насчитывается более шестидесяти, в последние годы являются как одним из основных поставщиков новой научной информации в биологии, физике поверхности, физике твердого тела, материаловедении, так и базой для разработки новых уникальных технологий.

Еще при создании в ИЯФе первых ускорителей на встречных пучках А.Н. Скринский предложил использовать СИ для биологических и химических исследований. На ускорительных установках ВЭПП-3 и ВЭПП-4М были построены двадцать специальных каналов для вывода синхронного излучения на экспериментальные станции. Здесь более 25 лет успешно

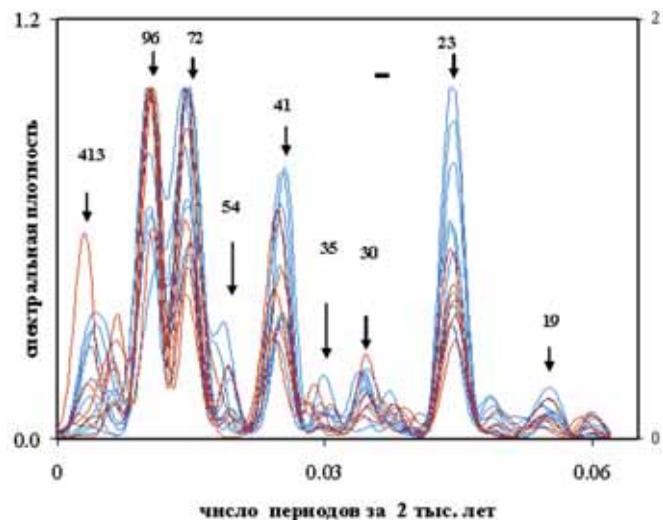


Экспериментальная станция СИ, предназначенная для исследования экстремальных состояний вещества и установленная в экспериментальном зале СИ ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН. Экспериментаторы зовут ее просто «Взрыв». Желтая конструкция — взрывная камера; оранжевая — система регистрации рентгеновского излучения, прошедшего через детонирующую взрывчатку или дифрагированного от нее. Алмазы, образующиеся при взрыве, транспортируются по трубе (в центре) в специальный контейнер или поступают для исследования на соседнюю экспериментальную станцию

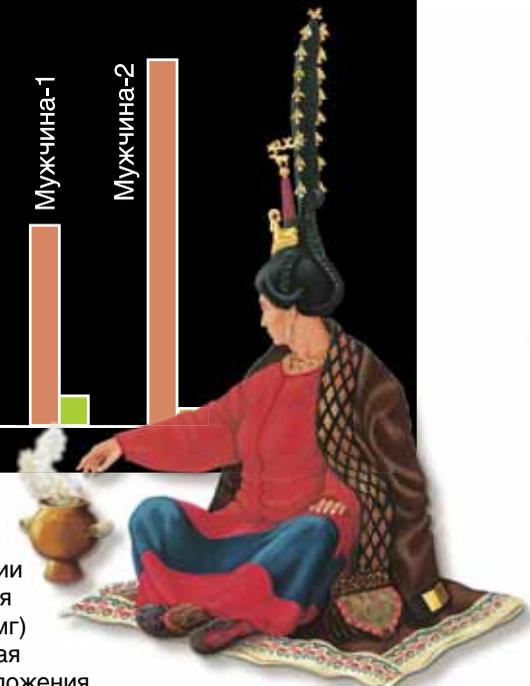


Станция рентгено-флуорисцентного элементного анализа «Байкал» Сибирского центра синхротронного излучения

Сотрудники Института неорганической химии СО РАН накопили большой опыт в определении с помощью синхротронного излучения элементного состава малых (менее 1 мг) образцов разных материалов, включая биологические, без химического разложения, пробы. При исследовании волос и ногтей древних пазырыкцев из «замороженных» могил, найденных учеными Института археологии и этнографии СО РАН на Горном Алтае, в них было обнаружено аномально высокое содержание меди. Ученые считают, что это является свидетельством отравления, связанного с распространенной среди пазырыкцев традицией вдыхать конопляные или иные пары над медной посудой



В совместных исследованиях ученые из Лимнологического института СО РАН (Иркутск) и ИЯФа определили динамику микроэлементного состава донных озерных осадков, по которой можно судить об изменениях климата в масштабе тысяч и даже миллионов лет



функционирует Сибирский центр синхротронных исследований — по сути, междисциплинарное образование, в котором работают ученые различных специальностей, и не только из Сибирского отделения, но также из других городов России и из-за рубежа.

В центре проведено немало пионерских работ, таких как: исследование высокоскоростных процессов (ударно-волновых и детонационных); исследования палеоклимата; получение сложных механических микроструктур из полимеров, металла и керамики с помощью глубокой рентгеновской литографии и гальваники и многое другое.

Алмазный результат

Когда вы смотрите кинохронику Великой Отечественной войны, то даже не предполагаете, что черный дым после взрыва тротилового снаряда на пятую часть состоит из горящих наноалмазов. Если бы взрывы происходили в вакууме, то образующиеся при этом алмазы оставались бы в полной сохранности.

Так где, когда и по какому механизму образуются алмазы при взрыве некоторых взрывчатых веществ? Это лишь небольшая часть вопросов, на которые пытаются ответить исследователи из ряда институтов СО РАН, построившие в Центре СИ уникальную установку. Официальное название установки — «Экспериментальная станция СИ для исследования экстремальных состояний вещества», — но аспиранты называют ее проще: «Взрыв». Руководит этими работами академик В. М. Титов.

Можно сказать, что установка представляет собой взрывную камеру, соединенную с кинокамерой. Только у этой киноаппаратуры скорость съемки в миллион раз больше, чем у обычной, и работает она не в видимой части спектра, а в рентгеновской. Естественно, что и снимает она не обычное кино, а «рентгеновское».

Колоссальная скорость съемки такого кинофильма позволяет исследовать быстротекающие процессы, происходящие внутри взрывчатки во время взрыва. К ним относятся переходный процесс горения — детонация и образования детонационной волны при инициировании взрывчатых веществ; движение детонационного фронта; зарождение и рост наноалмазов в зоне химической реакции детонационного фронта и в зоне разлета продуктов детонации.

Созданная в Сибири установка не имеет аналогов, что дает шанс российским ученым получить новые приоритетные результаты и стать «монополистами» в этой области исследований.



Г. Н. КУЛИПАНОВ — академик РАН, заместитель директора Института ядерной физики СО РАН, один из организаторов и директор Сибирского центра синхротронного излучения

Нет сомнения, что установки типа источников синхротронного излучения, нейтронных источников, лазеров на свободных электронах, астрофизических установок космического и наземного базирования, а также супермощных импульсных лазеров сейчас являются основой для развития многих наук: физики, биологии, химии, геологии, — а также технологий. Это фундамент для развития всей современной науки. И научное сообщество должно ясно осознать: когда у российской науки начнут появляться средства, не нужно поддаваться соблазну использовать их по принципу «всем сестрам по серьгам». Ресурсы следует концентрировать на ключевых направлениях, от которых зависит развитие многих наук. К сожалению, Россия упустила момент для создания новых источников синхротронного излучения, однако мы думаем о еще более совершенных машинах, которые станут следующим поколением этой техники. Речь идет о так называемых ускорителях-рекуператорах. Наша концепция, впервые изложенная на конференции в Японии в конце прошлого века, сегодня настолько популярна, что, по общему мнению, именно она может лечь в основу четвертого поколения источников синхротронного излучения.



ЛСЭ: нежно и точно

Постановление о создании Сибирского центра фото-химических исследований и технологий коллективного пользования на базе Института ядерной физики и Института химической кинетики и горения (Новосибирск) было подписано пятнадцать лет назад, в канун 1993 г. Главной установкой центра, предназначенного для проведения фундаментальных и прикладных исследований в физике, химии, биологии и медицине, должен был стать так называемый *лазер на свободных электронах (ЛСЭ)*, рабочей средой которого являются электроны, разогнанные до релятивистских скоростей в ускорителе нового типа, разработанного в ИЯФе. Излучение такого лазера можно плавно перестраивать по длинам волн в громадном инфракрасном диапазоне — от 2 до 200 мкм.

Для чего нужна такая установка? Поскольку диапазон излучения ЛСЭ перекрывает колебательные и вращательные спектры почти всех существующих молекул, появление такого универсального источника монохроматического излучения позволило бы селективно воздействовать на любые колебания в любых молекулярных системах. С помощью ЛСЭ можно, например, проводить «мягкую», без разрушения объекта, возгонку биологических веществ, чтобы затем с помощью масс-спектрометрии определять молекулярную массу и структуру, разделять органические молекулы, содержащие разные изотопы и т. п.

Помимо научно-познавательного, у ЛСЭ имеется огромный «технологический» потенциал в самых разных прикладных областях, включая биотехнологию, медицину, нанотехнологию, производство сверхчистых веществ. Один пример: биологические макромолекулы, перешедшие без деструкции под действием субмиллиметрового излучения лазера в аэрозольную фазу, можно «поймать» и закрепить на различных подложках. Это

прямой путь к созданию микрочипов, миниатюрных диагностических планшетов для медицинских целей.

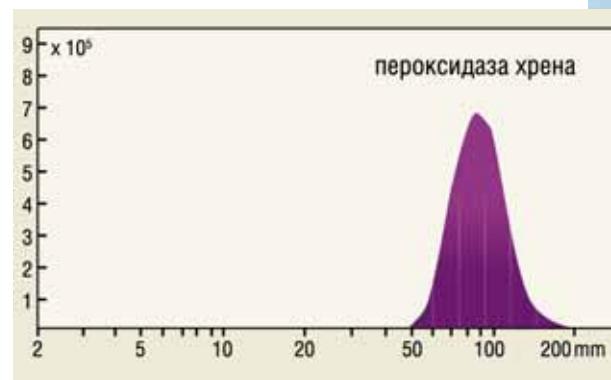
Первая очередь ЛСЭ с излучением от 120 до 235 мкм заработала в центре в апреле 2003 г., через десять долгих лет, наполненных упорным трудом, надеждами и разочарованиями... Лазеров в этом так называемом субмиллиметровом диапазоне частот очень мало, хотя именно последний сейчас притягивает к себе внимание ученых во всем мире. А на подходе — вторая очередь лазера, излучение которого перекроет коротковолновый диапазон.



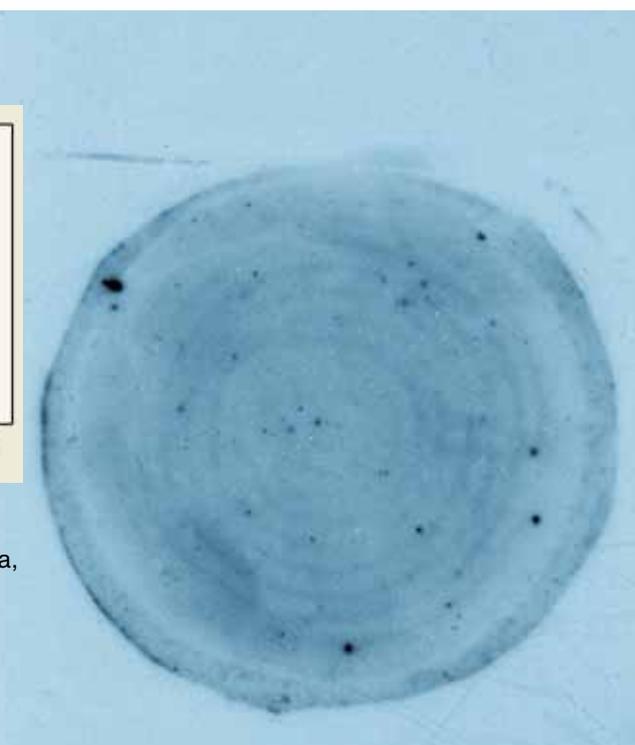
Подробнее на:
www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/
в разделе «Физико-технические науки»



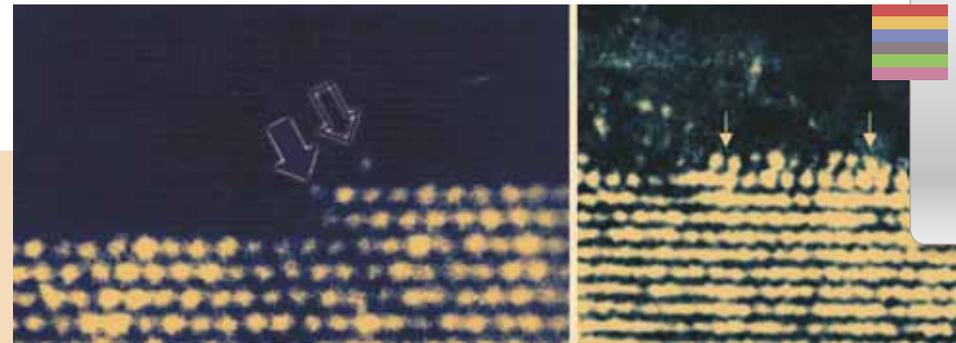
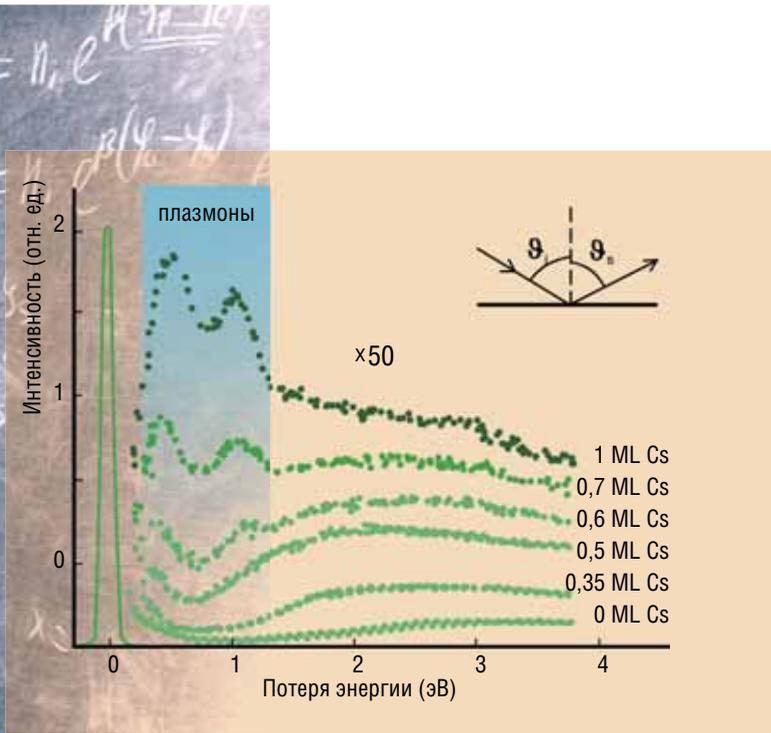
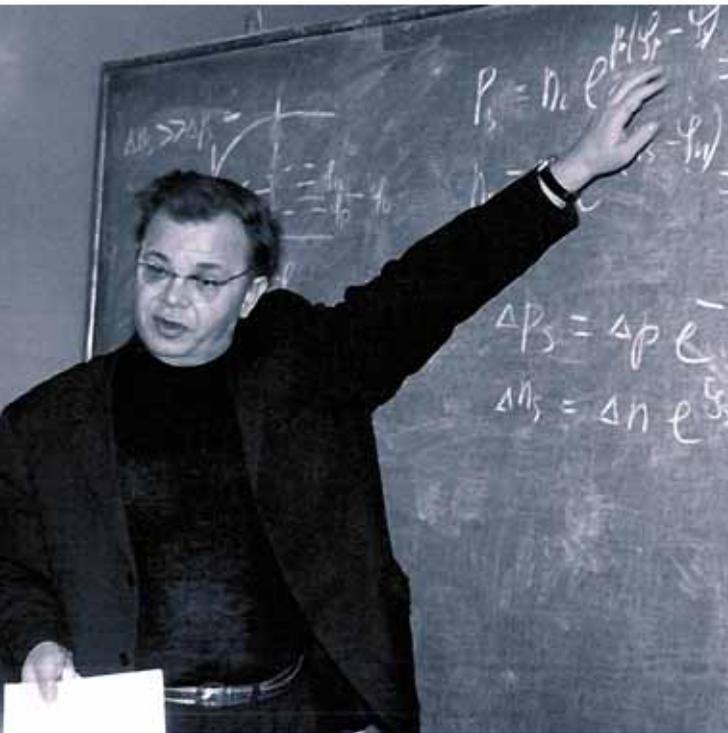
Сегодня в Сибирском центре фото-химических исследований излучение первой очереди ЛСЭ выведено на пять первых пользовательских станций, на которых реализуют свои проекты сотрудники разных институтов Сибирского отделения: физики, химии, биологи



Судя по результатам гистохимического окрашивания, ферментативная активность молекул пероксидазы хрена, переведенных в аэрозольное состояние с помощью воздействия излучения ЛСЭ, а затем «пойманных» на фильтр, ничуть не пострадала



2003 Запущена первая очередь лазера на свободных электронах



1971 Опубликована классическая монография А. В. Ржанова, посвященная электронным процессам на поверхности полупроводников

Границы раздела кристаллов Ge (а) и InSb (б) с пленками оксида на поверхности. Электронный микроскоп с высоким разрешением

Спектры энергетических потерь электронов для различной степени интенсивности покрытия цезием поверхности GaAs

зонной плавки обеспечивает отсутствие дислокаций, а также низкое содержание

электрически активных примесей (в концентрации менее 10^{12} см^{-3} при содержании электрически неактивных примесей (кислород, углерод) в концентрации, не превышающей 10^{16} см^{-3}). Сегодня эти монокристаллы используются для создания элементов силовой электроники с предельными по величине переключаемой мощности параметрами (сотни кВт).

Не менее значимые результаты получены в институте и при решении проблем не только химической чистоты и совершенства поверхности полупроводников, но также границ раздела «полупроводник-диэлектрик» и «полупроводник-полупроводник». Важную роль в этом сыграли разработка и применение нового поколения методов и инструментов для изучения электронных свойств и атомной структуры поверхности поистине с фантастическими возможностями по пространственному и энергетическому разрешению.

Важным шагом по оптимизации технологии получения совершенных границ раздела явилось развитие лазерной эллипсометрии. Этот метод, основанный на измерении углов поляризации отраженного света, был доведен в институте до высокой степени совершенства по следующим показателям: чувствительность (доли монослоя), быстродействие (микросекунды) и уровень автоматизации. Применение этого метода и совершенствование техники измерения вольт-фарадных характеристик структур «металл-диэлектрик-полупроводник» позволили разработать технологию, с помощью которой можно получить границу раздела InAs-диэлектрик с исключительно низкой плотностью поверхностных состояний (менее $10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$).

На основе этих структур были разработаны фоточувствительные

Установка МЛЭ «Обь-М» для выращивания эпитаксиальных слоев соединений кадмий-ртуть-теллур

элементы для матричных фотоприемных устройств среднего ИК-диапазона (2,5–3,0 мкм), применяемых в тепловизорах медицинского назначения; а в дальнейшем — для ИК-микроскопов и быстродействующих ИК-спектрометров.

Использование поверхностно-чувствительных методов электронной спектроскопии позволило получить впечатляющие результаты в процессе изучения элементарных механизмов фотогенерации электронов полупроводниковыми системами с отрицательным электронным средством. Эти методы легли в основу технологий, разработанных в ИФП для получения полупроводниковых электронно-оптических преобразователей нового поколения, использующихся в современной технике ночного видения.

Самый мощный импульс развитию физики поверхности полупроводников дали ускоренные темпы совершенствования технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Ее основой является метод последовательного наращивания из молекулярных пучков отдельных атомных слоев кристаллических материалов на поверхности полупроводниковой подложки; при



Открытия на поверхности полупроводников

Десять лет назад мало кто мог предположить, что словосочетание «нанoeлектроника» прочно войдет не только в научный оборот, но и в лексикон государственных деятелей развитых стран, в том числе и России

Вставшей классической монографии «Электронные процессы на поверхности полупроводников» (1971) академик А. В. Ржанов — первый директор Института физики полупроводников СО РАН, которому недавно присвоено имя ученого, — изложил результаты примерно сорокалетнего периода исследований поверхности полупроводников. Начало этим исследованиям положили работы академика И. Е. Тамма, который теоретически показал возможность существования особых состояний электронов на поверхности кристаллов. В конце 1940-х гг. в процессе

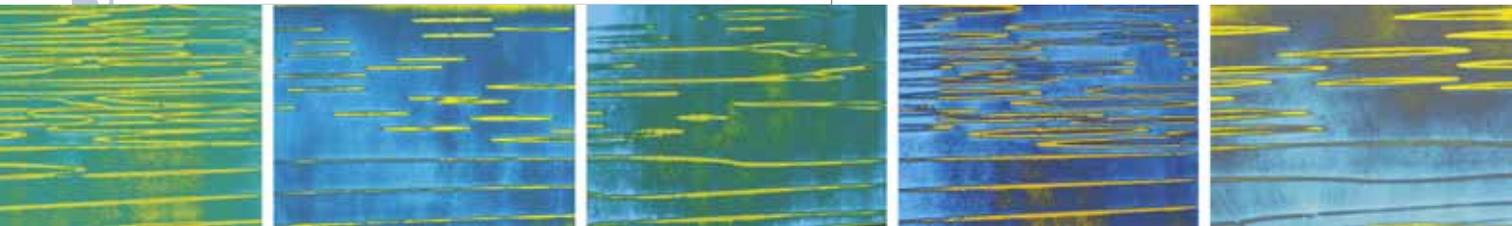
А. В. Ржанов — академик АН СССР, организатор и директор Института физики твердого тела и полупроводниковой электроники СО АН СССР (впоследствии — Институт физики полупроводников СО РАН)

дальнейшего экспериментального изучения был открыт транзисторный эффект — одно из величайших достижений науки XX века.

В предисловии к своей книге А. В. Ржанов, которого мы с полным правом можем назвать одним из основателей физики поверхности полупроводников, сформулировал основные проблемы развития этой области науки и наметил пути их решения, которыми и руководствовались его ученики и последователи.

По мнению ученого, основные результаты в физике полупроводников можно было получить в процессе увеличения химической чистоты и структурного совершенства кристаллической решетки исходных веществ. Таким образом, усилия исследователей в 70–80-е гг. прошлого столетия были направлены на развитие технологии выращивания совершенных монокристаллов полупроводников.

К примеру, в Институте физики полупроводников СО РАН была освоена технология выращивания высококачественных монокристаллов кремния диаметром до 125 мм. Используемый при этом метод бестигельной



Монослой кремния формируется путем роста и объединения двумерных островков.

Отражательная электронная микроскопия

и точное определение механизмов формирования отдельных атомных слоев на атомно-чистой поверхности полупроводника дополнительно достигается за счет применения таких сложных и высокочувствительных методов, как: дифракция медленных электронов, отражательная электронная микроскопия, сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия.

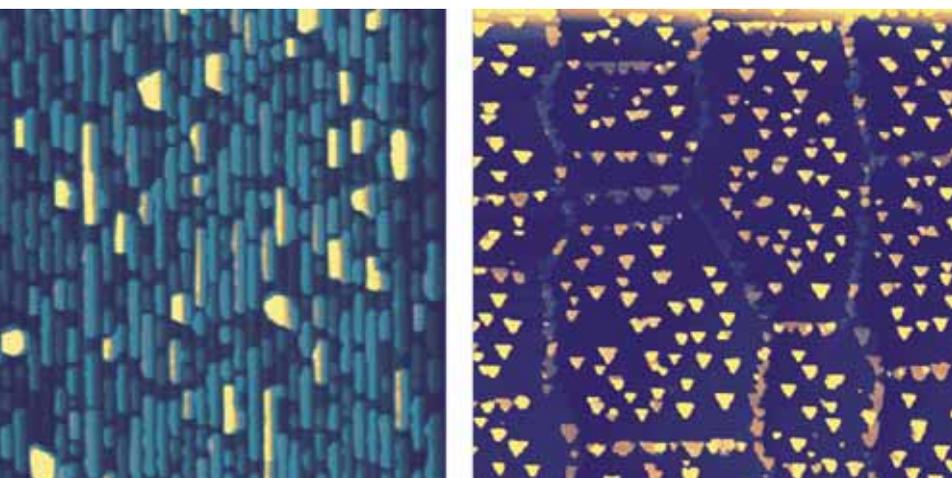
Комплексное использование всех этих подходов дало возможность применить метод МЛЭ для получения сложных тонкопленочных структур, состоящих из десятков и сотен отдельных слоев атомной и нанометровой толщины. По этой технологии в ИФП созданы многослойные эпитаксиальные структуры с квантовыми ямами, которые используются в ряде устройств современной электроники в сверхвысокочастотных транзисторах, фотоприемных устройствах, миниатюрных полупроводниковых лазерах с вертикальным резонатором и т. д.

Новый этап в развитии физики поверхности полупроводников и ее приложений в современной микро- и нанoeлектронике начался в 1990-е гг. Были открыты квантовые эффекты в полупроводниковых системах пониженной размерности: в квантовых ямах, квантовых нитях и квантовых точках, а также в наноструктурах сложной геометрии, включая кольцевые электронные интерферометры и нанооболочки произвольной формы.

На основе эпитаксиальных структур с квантовыми точками германия и арсенида индия были созданы образцы фотоприемных устройств ИК-диапазона, одноэлектронных транзисторов и однофотонных излучателей. Результаты исследований и моделирования процессов переноса носителей

Островковые структуры серебра (а) и германия на поверхности кремния (б).

Сканирующий туннельный микроскоп



этом с помощью дифракции быстрых электронов и лазерной эллипсометрии проводится одновременная диагностика состава и структуры растущих слоев. Исследование

заряда в многослойных структурах кремний-оксид с квантовыми точками открывает пути для улучшения основных параметров элементов электрически перепрограммируемых постоянных запоминающих устройств нового поколения, а также для перехода к схемам памяти терабитной емкости.

К приоритетным результатам последнего времени можно отнести разработку в ИФП метода молекулярной самосборки напряженных тонкопленочных структур, выращиваемых методом МЛЭ. Метод получения полупроводниковых нанотрубок открывает перспективы для производства отдельных наноструктур сложной формы и их массивов с предельно высокой точностью (до значения, равного толщине отдельного монослоя!).

По данной технологии уже изготовлены: нанотрубки полупроводниковых материалов, предназначенные для изучения свойств двумерного электронного газа на цилиндрических поверхностях; трубки микронного диаметра, предназначенные для микротермоанометров, а также для использования в клеточной биологии и медицине в качестве микро- и наношприцев.

Дальнейшее развитие подобных технологий будет сопровождаться расширением сферы применения нанообъектов в электронике, биологии, медицине и других практически важных областях. И в этом — немалая заслуга сибирского ученого, академика А. В. Ржанова.

*Академик А. Л. Асеев
(Институт физики
полупроводников
им. А. В. Ржанова СО РАН,
Новосибирский научный
центр)*



Тридцать лет назад (в 1977 г.) в Томском академгородке был открыт Институт сильноточной электроники Сибирского отделения АН СССР. Так новое научное направление получило официальное признание

Исследования в новой области физики — сильноточной электронике (термин образован от словосочетания «сильные токи») — стали проводиться в 1960-х гг. группой ученых под руководством будущего академика Г. А. Месяца сначала в НИИ ядерной физики при Томском политехническом институте, а затем в Институте оптики атмосферы. В 1977 г. на базе этого исследовательского коллектива был создан Институт сильноточной электроники СО АН СССР. Новое направление включало в себя такие области физики, как: разработка методов генерирования сверхмощных электрических импульсов, получение потоков заряженных частиц и электромагнитных излучений; физика вакуумного и газового разрядов, а также исследования воздействий мощных потоков частиц и энергии на вещество.

С силой ядерного взрыва

Плоть и кровь сильноточной электроники — мощная импульсная техника. В сильноточных генераторах электрическая энергия сначала медленно накапливается в конденсаторах, затем преобразуется и быстро выводится из них как короткий (длительностью в миллионные или миллиардные доли секунды!) электрический импульс. Напряжение в этом импульсе может достигать миллионов вольт, ток — миллионов ампер, а мощность — нескольких тераватт. (1 ТВт равен 1 млрд кВт; мощность, непрерывно генерируемая Красноярской ГЭС, составляет всего 0,006 ТВт.)

Участники 13-го Международного симпозиума по сильноточной электронике и 7-й Международной конференции по модификации материалов пучками частиц и потоками плазмы (2004) на экскурсии в высоковольтном зале, где происходит сборка ступени мегаамперного линейного трансформатора

Томский ИМПУЛЬС



Визит руководства Академии наук СССР в ИСЭ в связи с его открытием (1977): осмотр сильноточного наносекундного ускорителя электронов «СИНУС». Справа налево: председатель Президиума СО АН СССР академик Г. И. Марчук, директор института Г. А. Месяц, заместитель председателя СО АН СССР академик А. А. Трофимук, председатель АН СССР академик А. П. Александров

В ИСЭ были созданы крупнейшие электрофизические установки для проведения фундаментальных исследований в области физики плазмы и отработки новых технологий: тераваттные генераторы ГИТ-12, ГИТ-4, МИГ — и десятки менее крупных универсальных и специализированных устройств.

Важнейшей областью потенциального применения подобной импульсной техники является инерциальный термоядерный синтез. Начиная со второй половины 1990-х гг. в институте осуществляется разработка индукционных генераторов нового поколения, мощность которых настолько велика, что позволяет подключать их к нагрузке без использования дополнительных ступеней компрессии энергии. Сегодня учеными из США этот подход признан наиболее перспективным в строительстве сверхмощных генераторов для им-

пульсного термояда с электродинамическим сжатием мишени. А импульсные источники питания систем накачки твердотельных лазеров, произведенные в ИСЭ, планируется использовать в установке лазерного термоядерного синтеза LMJ, работа над которой ведется во Франции.

Создание импульсных установок с критическими характеристиками позволило ученым приступить к физическим исследованиям вещества в условиях экстремально высокой плотности энергии. Благодаря проведению экспериментов по осуществлению электродинамического сжатия вещества были получены импульсные магнитные поля в десятки миллионов гаусс и давления в десятки миллионов атмосфер. В лабораторных условиях для твердого вещества, в привычном понимании — несжимаемого, удалось достичь 3–4-кратной степени сжатия! До того считалось, что подобного состояния вещества можно достичь лишь внутри ядерных взрывов. Опытным путем выяснилось, что вещество, сжимаемое магнитным полем мегаамперных токов, становится источником сверхмощных вспышек как мягкого, так и жесткого рентгеновского излучения: данное явление может быть использовано в импульсной радиографии.

Эффект взрывной эмиссии

Еще в середине 1960-х гг. ученым из группы Г. А. Месяца на основании результатов, полученных в ходе уникальных экспериментов, удалось описать механизм электрического пробоя в вакууме, названный взрывной эмиссией. Суть этого феномена заключается в том, что под влиянием сильного электрического поля, которое создано вблизи металлической поверхности в вакууме, за время, исчисляемое миллиардными долями секунды, происходит термическое взрывное разрушение микроскопических участков металла с образованием плотной плазмы. Из нее под действием приложенного электрического поля и извлекаются электроны, при этом плотности тока на порядки выше тех, что характерны для всех других известных типов эмиссии.

После объяснения механизма взрывной эмиссии электронов стало возможным создание катодов, способных генерировать импульсные электронные пучки с недостижимой ранее силой тока. Были разработаны мощные импульсные лазеры, рентгеновские трубки, ускорители заряженных частиц, позволившие генерировать сверхмощные импульсы СВЧ-излучения.

В 1989 г. в качестве научного открытия были зарегистрированы результаты цикла исследований воздействия внешнего ионизирующего излучения на процесс формирования импульсного разряда высокого давления. Применение объемных газовых разрядов привело к получению важных результатов в мощной лазерной

технике. Так, ионизуя рабочий газ с помощью сильноточного электронного пучка, удалось получить однородный разряд в лазерной среде объемом до кубометра! Это позволило создать лазеры на углекислом газе с рекордной энергией в импульсе до 5 кДж.

В настоящее время институт активно участвует в крупном российском научном проекте по созданию лазерной системы петаваттной мощности: сверхмощный и сверхкороткий лазерный импульс, протяженность которого в пространстве составит всего лишь 15 микрон, станет новым инструментом для проведения фундаментальных исследований вещества.

Быстрее, выше, сильнее!

Несомненно, девизом сильноточной электроники мог бы быть древний олимпийский лозунг. Сильнее — ток, выше — мощность, короче — импульс: по этой дороге можно бежать бесконечно. Но жесткие требования, которые индустриальное общество предъявило к науке, заставляют ученых отказаться от установления рекордов и доказать, что наука может принести практическую пользу. И в этом плане фундаментальные разработки сильноточной электроники оказались щедрыми на урожай. В качестве примера приведем лишь технологии, которые в целях обработки поверхностей используют воздействие потоков заряженных частиц и плазмы.

Помещая металлическое изделие в плазму дугового газового разряда, можно очистить его поверхность, нанести на нее наноструктурное композиционное покрытие с твердостью, приближающейся к твердости алмаза! А пучково-плазменная металлургия позволяет создавать поверхностные сплавы с таким составом и свойствами, создать которые с точки зрения традиционных методов совершенно невозможно.

Плазма позволяет наносить покрытия и на неметаллические материалы. На многих предприятиях Сибири используется технология нанесения теплосберегающих покрытий на архитектурное стекло, на подходе — производство более дешевой теплосберегающей полимерной пленки с прозрачным нанокристаллическим покрытием.

Облучая металлический образец импульсным сильноточным электронным пучком, можно мгновенно отполировать его поверхность до зеркального блеска, пусть эта поверхность и имеет сложную форму. Плавясь под пучком и быстро остывая, тонкий слой металла очищается от примесей,



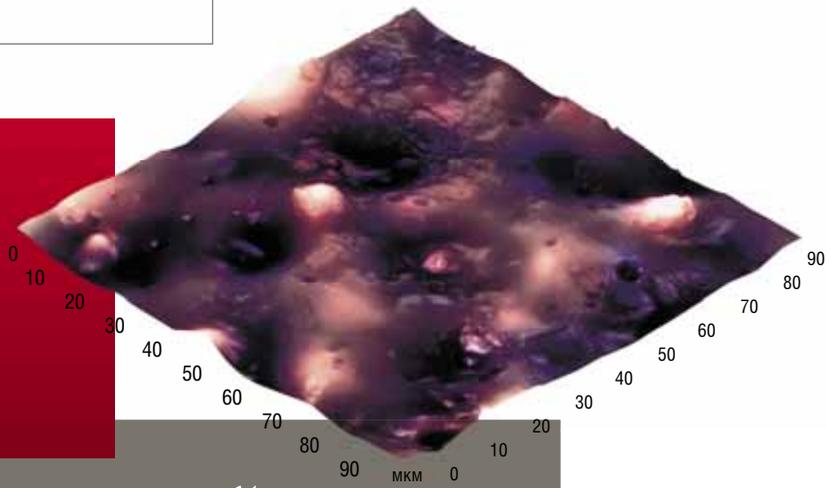
Мощные современные импульсные генераторы в высоковольтном зале

приобретает нанокристаллическую структуру с высокой твердостью, износостойкостью и стойкостью к коррозии. Эту технологию можно применять и к хрупким сверхтвердым инструментальным сплавам.

В 2003 г. в Японии импульсная электронно-пучковая технология, разработанная в ИСЭ, была признана «технологией года», а число выпущенных здесь по лицензии института установок превысило сотню. В институте уверены: совсем скоро электронно-ионно-плазменные технологии обработки поверхности материалов и изделий будут востребованы и российским машиностроением. Добрые традиции, современная техническая база, мобильность и гибкость коллектива, а также забота о молодых научных кадрах — вот те составляющие успеха, которые, несмотря на непростые российские условия, позволят сибирской сильноточной электронике и в дальнейшем уверенно развиваться и завоевывать новые позиции на мировом рынке наукоемкой продукции.

*Д. ф.-м. н. А. В. Козырев, д. ф.-м. н. И. В. Пегель
(Институт сильноточной электроники СО РАН,
Томский научный центр)*

1976 В Государственном реестре научных открытий зарегистрировано открытие явления взрывной эмиссии электронов

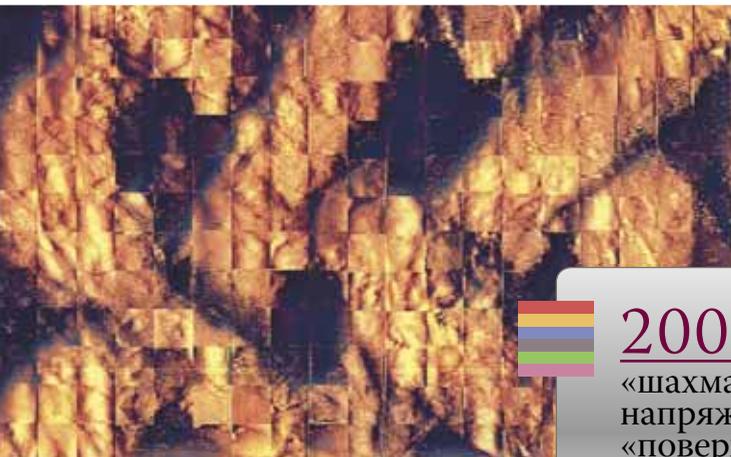


Наноструктурные покрытия:

эффект «шахматной доски»

В последнее время во всех развитых странах мира интенсивно ведется разработка наноструктурных конструкционных материалов новых поколений. Высокие характеристики прочности, износостойкости, усталостной долговечности, коррозионной стойкости позволяет таким материалам занять доминирующее место в материаловедении XXI века

Образование полос локализованного пластического течения при растяжении в наноструктурированном поверхностном слое малоуглеродистой стали. Сканирующая туннельная микроскопия



Несмотря на впечатляющие успехи, достигнутые в области «наноматериаловедения», на пути создания объемных наноструктурных материалов, их сварных соединений и сложных конструкций стоят серьезные трудности. Отсутствуют технологии для создания однородной наноструктуры в больших объемах материала; существует проблема сохранения наноструктуры в сварных соединениях; а также проблема, связанная с резким падением прочности наноструктурных материалов в зонах локальных перегрузок.

Тем не менее подход к решению этих проблем существует, и заключается он в специальном наноструктурировании исключительно поверхностных слоев конструкционных материалов. Научные основы таких технологий были разработаны в Институте физики прочности и материаловедения СО РАН; здесь было создано и необходимое для этого оборудование. И осуществить это удалось благодаря открытию, сделанному при изучении формирования наноструктур в многослойных поверхностных слоях и покрытиях. Суть его заключается в том, что на границе раздела двух сред (на интерфейсе) образуется особая регулярная структура, причем характер и параметры этой структуры определяют новые свойства, которые приобретает испытуемый образец.



2005 Экспериментально показано существование эффекта «шахматной доски» в распределении напряжений и деформаций на интерфейсе «поверхностный слой — подложка»

На границе

Следует отметить, что граница любых разнородных сред, имеющих разные значения модулей упругости, коэффициенты термического расширения и химического состава, в поле внешних воздействий характеризуется неоднородным распределением напряжений, деформаций и химического потенциала.

Экспериментальные исследования и теоретические расчеты показали, что распределение напряжений и деформаций на интерфейсах в твердых телах является периодическим. Для плоской границы раздела это распределение имеет вид «шахматной доски», на которой клетки, испытывающие сжимающие нормальные напряжения, чередуются с клетками, испытывающими растягивающие нормальные напряжения. Касательные напряжения также имеют «шахматное» распределение, но сдвинутое в пространстве по фазе на $\pi/2$.

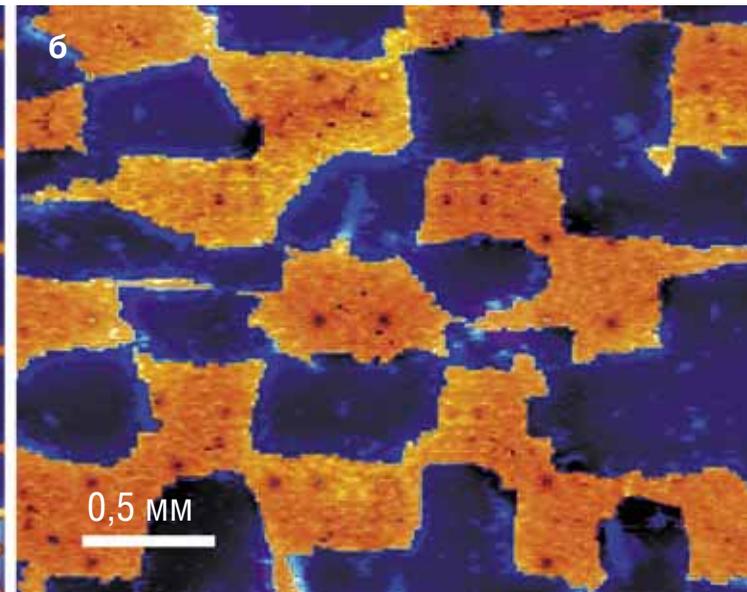
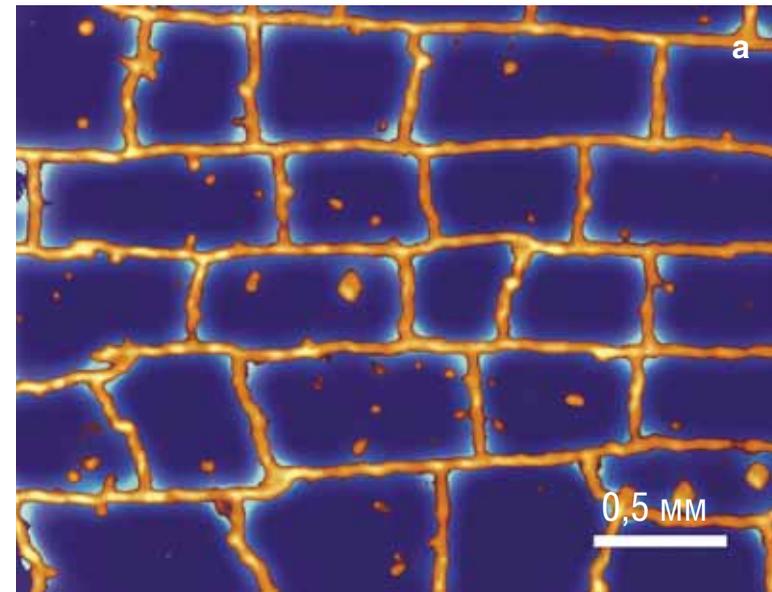
Влияние этого эффекта на прочностные характеристики образца можно объяснить, рассмотрев механизмы пластического течения и разрушения твердого тела при его нагружении выше предела упругости. Все опреде-



Подробнее на: www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/ в разделе «Физико-технические науки»

выделяется как самостоятельная подсистема. «Родной» и наноструктурированный поверхностные слои ведут себя по-разному по отношению к возникающим в них дислокациям (дефектам). В первом случае поверхностный слой функционирует как своего рода «насос», закачивающий дислокации внутрь нагруженного материала и ускоряющий его разрушение. В то же время наноструктурированный поверхностный слой можно назвать «насосом наоборот», который задерживает накопление деформационных дефектов в объеме материала, тем самым увеличивая эксплуатационный ресурс работы.

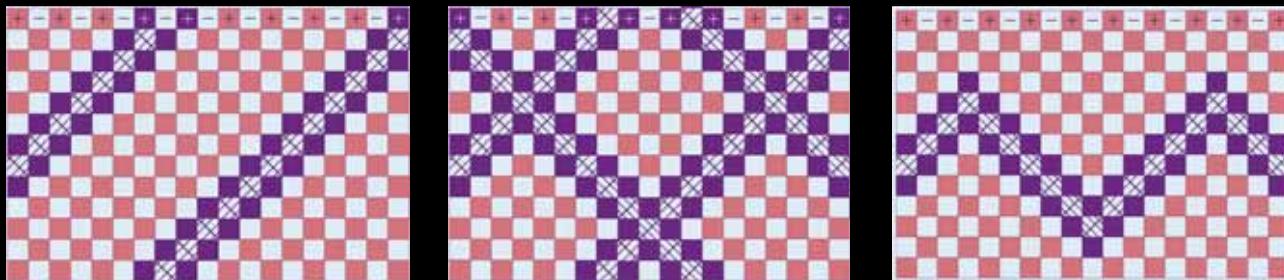
Пластическая деформация в твердых телах может зарождаться и распространяться только в зонах растягивающих нормальных напряжений. Именно здесь возникают условия, необходимые для зарождения



ляется локальной потерей сдвиговой устойчивости, поэтому центральной задачей в методологии описания пластического течения и разрушения твердого тела является системный анализ сдвиговой устойчивости всех возможных подсистем в нагруженном материале.

Известно, что наименьшую сдвиговую устойчивость в нагруженном твердом теле имеет поверхностный слой, который можно рассмотреть как особое состояние вещества. В физической мезомеханике он даже

Покрытие Si-Al-N на медной подложке после процесса термоциклирования (поверхностный слой подложки перед нанесением покрытия был наноструктурирован пучком ионов Cu⁺):
а – после 34 циклов термоциклирования;
б – после 55 циклов



Три принципиально возможные схемы стационарного гофрирования поверхностного слоя деформируемого твердого тела (структура интерфейса в виде «шахматной доски»)

и распространения ядер дислокаций (или любых других дефектов кристаллической решетки). Поэтому получается, что «шахматный» характер распределения растягивающих нормальных напряжений на интерфейсе «поверхностный слой — подложка» обуславливает «мозаичную» локализацию зарождения пластических сдвигов в поверхностном слое деформируемого материала.

Чем меньше размер участков локализации деформации, тем больший объем материала одновременно вовлекается в пластическое течение и тем выше прочностные механические характеристики нагруженного материала. Более однородное распределение напряжений, создающееся в образце, препятствует возникновению макроконцентраторов напряжений, где зарождается магистральная трещина и начинается разрушение материала.

Прочность и долговечность

Наноструктурирование поверхностных слоев нагруженных твердых тел и нанесение на них наноструктурных покрытий с учетом эффекта «шахматной доски» может стать эффективным способом упрочнения материалов. В Институте физики прочности и материаловедения это проверено и доказано экспериментально. Кроме того, можно дополнительно улучшить эксплуатационные характеристики инструментальных материалов, используя многоуровневое наноструктурирование поверхностных слоев материала, когда сначала проводится наноструктурирование подложки, а затем наносится само покрытие.

В институте разработан ряд методов наноструктурирования поверхностных слоев конструкционных материалов; подробно исследовано изменение макромеханических характеристик различных сталей и сплавов на основе Ti, Al, Ni при наноструктурировании их поверхностных слоев путем ударной ультразвуковой обработки. Результаты этих работ свидетельствуют

о возможности значительно улучшить макромеханические характеристики материала, не меняя при этом состав поверхностного слоя. Особенно эффективным является наноструктурирование сварных соединений высокопрочных сталей и сплавов. Их характеристики, в том числе и усталостная долговечность, могут возрастать при этом многократно.

Особый интерес представляют интерметаллические и химические соединения, которые имеют очень высокую твердость. Однако их высокая термодинамическая стабильность затрудняет формирование наноструктуры. Эту трудность можно преодолеть разными путями. Во-первых, использовать многокомпонентные композиции, в которых могут формироваться смеси нескольких соединений различных конфигураций. Во-вторых, использовать максимально мелкую «шахматную» структуру интерфейса «покрытие — подложка», которая позволяет синтезировать в клетках растягивающих нормальных напряжений кластеры соединений различных модификаций, а границы их раздела удерживать в клетках сжимающих нормальных напряжений. Кроме того, можно облучать осаждаемое покрытие высокоэнергетическими пучками газовых ионов, которые способствуют распределению кластеров различных композиций по клеткам «шахматной доски» на интерфейсах «покрытие — подложка».

На основе научных исследований в ИФПМ СО РАН были разработаны нанотехнологии нанесения сверхтвердых наноструктурных покрытий на материалы самого разного конструкционного и инструментального назначения. Широкое промышленное применение этих результатов должно стать делом не далекого будущего, а сегодняшнего дня.

*Академик РАН В. Е. Панин, к. ф.-м. н. В. П. Сергеев
(Институт физики прочности и материаловедения
СО РАН, Томский научный центр)*

Наноразнообразие

Сделано по
технологиям
Принца

Проблема создания и исследования наноструктур с контролируемыми размерами и заданными свойствами входит в число важнейших проблем нашего времени. Ее решение должно привести к революционным изменениям в нанoeлектронике, наномеханике, биологии, медицине, материаловедении и других областях науки

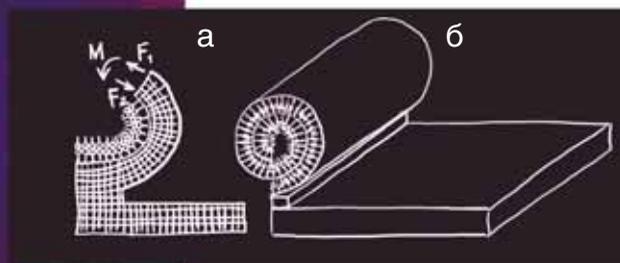
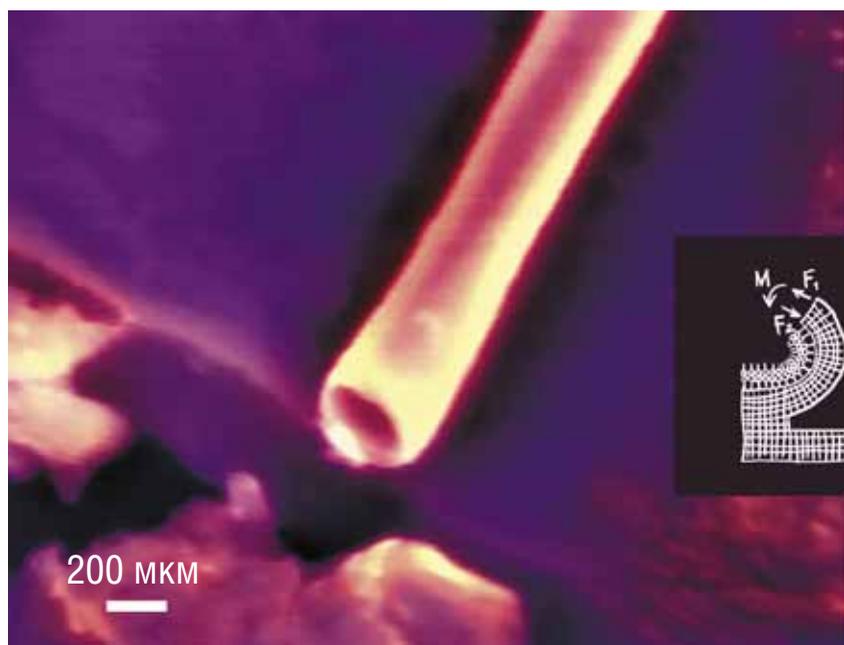
В Институте физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН исследовательская группа под руководством д. ф.-м. н. В. Я. Принца разработала оригинальную прецизионную технологию создания трехмерных наноструктур и наносистем, которая обеспечивает молекулярную точность изготовления полупроводниковых, металлических и гибридных наноструктур.

Схема процесса формирования гибридных нанотрубок:

а — освобождение от связи с подложкой и изгиб исходной гибридной пленки Легмюра-Блоджетт/InAs/GaAs;

б — самосворачивание пленки в рулон.

Расстояние между витками рулона точно задается толщиной пленки Легмюра-Блоджетт



Металлическая Au/Ti нанотрубка длиной 10 см и диаметром 200 нм

Растим в вакууме

Технической основой новой технологии стал процесс *молекулярно-лучевой эпитаксии* — контролируемого послойного осаждения атомов в сверхвысоком вакууме. Этот процесс позволяет с высочайшей, атомарной точностью, монослой за монослоем, выращивать сложные однородные по площади гетероструктуры из самых различных веществ.

Сами нанообъекты формируются на следующем этапе с помощью селективного травления в этой гетероструктуре, напоминающей «сэндвич», специально созданного так называемого жертвенного слоя. После его удаления тонкая двухслойная пленка под действием упругих сил начинает скручиваться в нанотрубку.

Данным способом можно получать нанооболочки самых различных форм: трубки, спирали, кольца, полусферы и периодические наноффрированные структуры. Разработчики технологии считают, что только с ее помощью можно изготовить такое разнообразие нанообъектов определенной атомарной структуры.

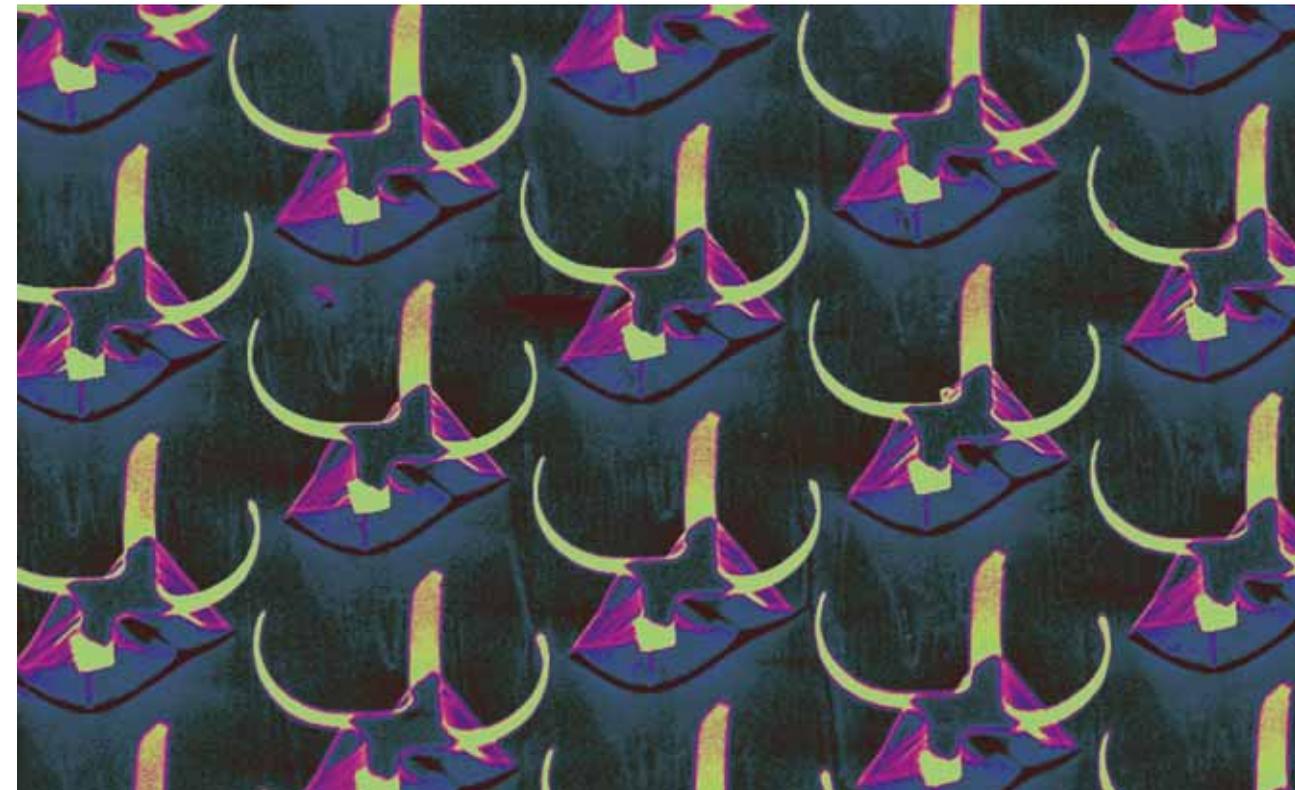
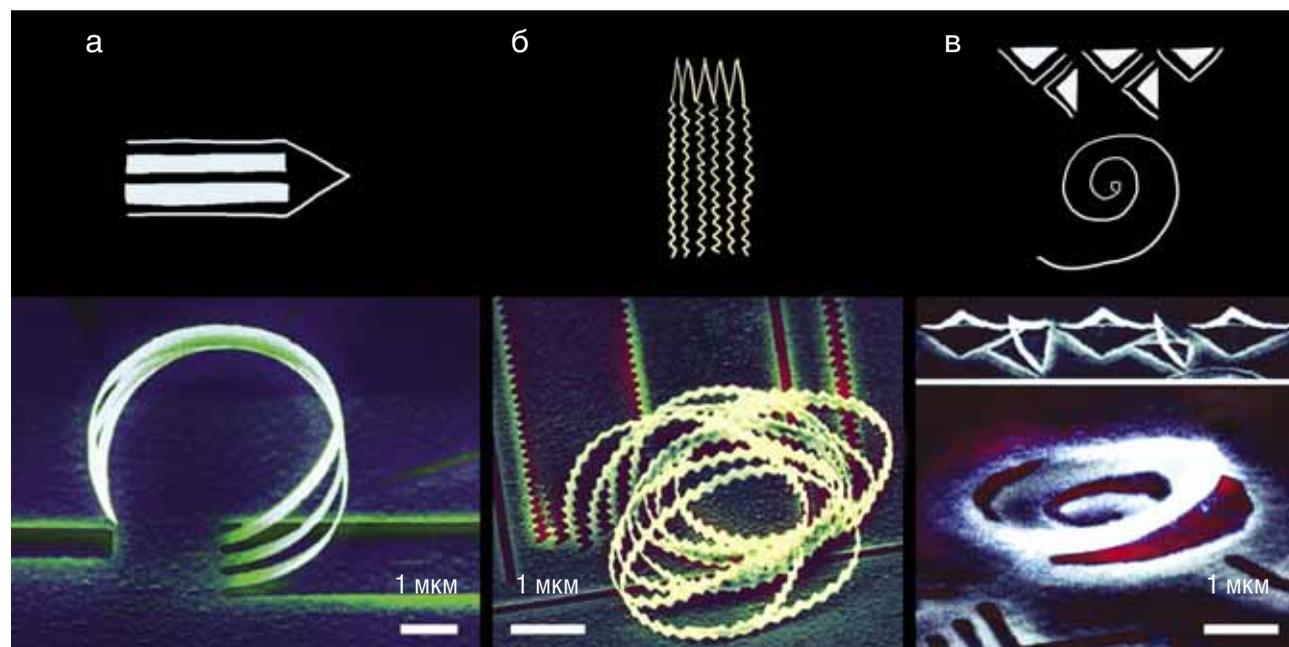
К настоящему времени получены нанотрубки из полупроводниковых материалов, использующиеся для изучения свойств двумерного электронного газа на цилиндрических поверхностях; трубки микронного диаметра для использования в качестве микро- и наносприцев в клеточной биологии и медицине. А термоанометры на основе трубок со стенками нанометровой толщины по сравнению с традиционными датчиками газовых потоков обладают большей чувствительностью при измерении пульсаций скоростей в турбулентных потоках, а также большим быстродействием.

На пути к шапке-невидимке

Высокое качество выращенных гетероструктур позволяет получать изогнутые и свернутые наноструктуры — оболочки длиной до нескольких сантиметров с атомно гладкими, однородными по толщине стенками. Метод формирования изогнутых и свернутых гетероструктур хорошо стыкуется с технологией изготовления интегральных схем. Более того, с помощью методов управляемого направленного изгиба и сворачивания, которые разработаны в институте, можно создать на одной подложке одновременно множество объектов самых различных конфигураций, а также осуществить сборку трехмерных конструкций, используя взаимодействие между сворачивающимися объектами.

Для этого с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии выращиваются многослойные структуры, включающие несколько бислоев, разделенных жертвенными слоями. Травление этих слоев позволяет создавать периодические массивы связанных трехмерных структур, заполняющих всю поверхность подложки. По-

Трехмерные SiGe оболочки, сформированные из 15 нм пленок, структурированных с помощью электронной литографии:
а — изогнутые полоски-кантилеверы;
б — зубчатые полоски, свернутые в моток;
в — изогнутая спираль Архимеда и массив иголок



Периодический массив трехмерных оболочек, изготовленных из InGaAs/GaAs

добные микро- и наноструктуры представляют собой основу для создания принципиально новых двумерных и трехмерных *киральных* (оптически активных) материалов.

Английские и американские ученые в 2006 г. продемонстрировали для гигагерцевого излучения отрицательный коэффициент и невидимость объектов, помещенных за таким метаматериалом. В институте на основе массива подобных нанооболочек впервые была создана искусственная оптически активная среда для терагерцевого излучения; ведется разработка материалов с отрицательным коэффициентом преломления, необходимых для создания экранов-невидимок, линз и других уникальных приборов. Авторы технологии считают, что их методика позволит перейти к более коротким длинам волн, вплоть до оптических.

Это прямой путь к осуществлению заветной мечты человечества о шапке-невидимке. И ждать, похоже, осталось не так уж долго: сейчас по технологии, впервые разработанной в Новосибирском академгородке, работает более двадцати ведущих научных институтов мира.

К сожалению, на Земле практически невозможно создать условия для получения особо чистых, высокосоввершенных и однородных по площади многослойных гетероструктур. Принципиальным технологическим прорывом в создании более совершенных нанообъектов для установок молекулярно-лучевой эпитаксии может стать вывод этих установок в открытый космос.

Глубокий вакуум, образующийся вблизи орбитальных станций при использовании эффекта «молекулярного экрана», позволит существенно улучшить качество получаемых наноструктур. Идея о выводе в космос подобных технологических установок, до сих пор относящаяся к разряду фантастических, в ближайшем будущем имеет все шансы стать реальностью.

Подробнее на:
www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/
 в разделе «Физико-технические науки»



За звуковым барьером



С. А. Христианович — академик АН СССР, выдающийся механик и математик, один из основателей СО АН СССР. Организатор и первый директор Института теоретической и прикладной механики (1957—1965 гг.)

В настоящее время пассажирские перевозки осуществляются магистральными самолетами, летающими с околозвуковыми скоростями. Эксплуатация сверхзвуковых пассажирских самолетов станет возможной лишь при успешном решении проблемы «звукового удара».

Дальность крейсерского полета магистрального самолета пропорциональна скорости полета — аэродинамическому качеству, являющемуся отношением подъемной силы к силе сопротивления, — и обратно пропорциональна расходу топлива на создание тяги. Естественно, дальность полета тем больше, чем больше запас топлива на борту. При фиксированной же дальности полета за-

траты топлива тем меньше, чем больше скорость полета и выше аэродинамическое качество самолета.

Работы, направленные на увеличение скорости полета и повышение аэродинамического качества, были начаты еще в 30-х гг. прошлого столетия. На рубеже 1930—1940-х гг. в связи с развитием скоростной авиации перед авиационной наукой встали новые сложные проблемы. Выяснилось, что увеличение скоростей полета приводит к резкому возрастанию сопротивления крыльев и других частей самолета. Оказалось, что подобный феномен может быть вызван возникновением в потоке таких областей, в которых воздух движется относительно обтекаемого тела со скоростью, превосходящей скорость звука. В Германии и США утвердилось мнение, что увеличение сопротивления обусловлено только отрывом воздушного потока в хвостовой части профиля, происходящим вследствие скачка уплотнения — узкой области течения, в которой происходит резкое падение скорости: от сверхзвуковой к дозвуковой.

В 1940 г. в Центральном аэродинамическом институте (ЦАГИ) под руководством С. А. Христиановича, который незадолго до этого возглавил лабораторию аэродинамики больших скоростей, было вычислено сопротивление, вызванное наличием подобных скачков (волновое сопротивление), и продемонстрировано, что это сопротивление и при отсутствии срыва потока может достигать тех величин, которые были зафиксированы в ходе экспериментов. Оказалось, что скачок уплотне-

За самолетом видны так называемые замыкающие скачки уплотнения, возникающие во время полета на сверхкритической скорости. Из-за уменьшения кинетической энергии полное давление газа после прохождения им скачка уплотнения понижается. В термодинамике такой процесс называется необратимым. Благодаря открытию этого явления удалось объяснить причины роста сопротивления крыловых профилей при обтекании их трансзвуковым набегающим потоком. Скачки уплотнения также являются причиной «звукового удара» во время полета сверхзвуковых самолетов

ния приводит к падению давления в хвостовой части профиля, и это обстоятельство способствует росту сопротивления обтекаемого тела. Отрыв потока, часто сопровождающий скачок уплотнения, лишь дополнительно снижает давление в той же части профиля.

Для проведения опытов, подтверждающих теоретически полученные результаты, необходимо было создать аэродинамическую трубу с трансзвуковой скоростью в рабочей части. В такой установке ударные волны, возникающие при обтекании модели крыла трансзвуковым потоком, отражаясь от стенок рабочей части, падают на поверхность модели и существенно меняют структуру воздушного течения.

Христиановичем была разработана теория «коротких» волн, позволившая решать задачи взаимодействия ударных волн с различными поверхностями. Выяснилось, что полупроницаемые поверхности значительно ослабляют интенсивность отраженных волн. Так появилась идея перфорации стенок рабочей части трансзвуковой аэродинамической трубы. Впервые подобная труба была создана в 1946 г. в ЦАГИ. Сейчас трубы с перфорацией стенок являются неотъемлемой частью аэродинамических лабораторий всего мира.

В последующих исследованиях, которые были проведены С. А. Христиановичем и его сотрудниками, за короткий срок удалось полностью решить задачу влияния сжимаемости течения на распределение давления по крылу. Был установлен фундаментальный закон стабилизации. При наступлении критической скорости сначала происходит замедление роста скорости у поверхности профиля по сравнению с ростом скорости набегающего потока. Затем возрастание скорости вообще прекращается, и распределение значений числа Маха (отношение

С помощью подвода энергии можно уменьшить размеры сверхзвуковой зоны и интенсивность замыкающего скачка уплотнения, что приводит к значительному снижению волнового сопротивления. На графиках показаны поля чисел Маха при обтекании симметричного профиля: и без подвода энергии (а) и с подводом энергии (б—г)



Подробнее на www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/ в разделе «Математика и механика»

скорости полета к скорости распространения звуковых волн) по поверхности профиля от его носка до скачка уплотнения остается постоянным, не зависящим от скорости набегающего потока. На основе этого распределения, названного предельным распределением чисел Маха, вычисляется «предельная кривая давления».

Этот закон позволил Христиановичу разработать метод расчета аэродинамических характеристик трансзвуковых профилей. (Следует иметь в виду, что в то время не было ЭВМ и все расчеты производились на логарифмических линейках и арифмометрах.)

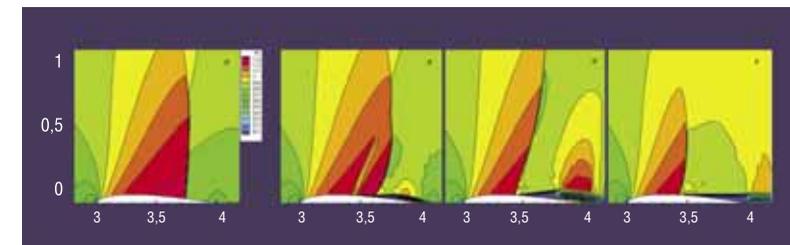
Идея управления положением замыкающего скачка уплотнения стимулировала поиск новых способов воздействия на течение. Выяснилось, что управлять положением и интенсивностью замыкающего скачка уплотнения можно не только с помощью изменения формы профиля, но и с помощью подвода энергии в поток. Расчеты показали, что ее целесообразнее подводить вблизи поверхности крыла в очень малых количествах.

Проблемы, которыми занимался академик Христианович, были актуальными всегда, а многие из них остаются актуальными и сегодня. И в решении одной из таких задач — создание и развитие авиации больших скоростей — ученый внес весомый вклад, послуживший толчком для развития новых научных направлений.

Академик В. М. Фомин, д. ф.-м. н. С. М. Аульченко, к. т. н. А. Ф. Латыпов (Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, ННЦ)



Аэродинамическая труба нового поколения, предназначенная для моделирования полета воздушно-космических аппаратов





Доклады Академии наук СССР
1971. Том 196, № 1

УДК 552.578.1 ГЕОХИМИЯ

Ю. Ф. МАКОГОН, Ф. А. ТРЕБИЦ, академик А. А. ТРОФИМУК,
В. П. ЦАРЕВ, Н. В. ЧЕРСКИЙ

**ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАЛЕЖИ ПРИРОДНОГО ГАЗА
В ТВЕРДОМ (ГАЗОГИДРАТНОМ) СОСТОЯНИИ**

Экспериментальные и теоретические исследования (1²⁻¹⁴) подтвердили гипотезу (1¹⁻¹¹) о существовании газогидратных залежей в земной коре. Однако наличие промышленных газогидратных залежей оставалось недоказанным.

С целью использования существующих методов поисков и разведки газовых залежей для обнаружения залежей газогидратных нами были исследованы физические их характеристики.

Замеры электросопротивления кернов, содержащих гидраты газов, показали, что при переходе свободного газа в твердое гидратное состояние и при накоплении гидрата в пористой среде керна его электросопротивление резко возрастает (1^{1, 4}). Характерная кривая роста удельного электросопротивления керна в зависимости от количества остаточной воды, перешедшей в гидратное состояние (рис. 1), получена на кернах, перешедших в гидраты (IV).

Топливо будущего

Газогидраты представляют собой уникальную твердую смесь газа и воды, при этом объемное содержание газа может достигать 150–180 единиц на единицу объема гидрата.

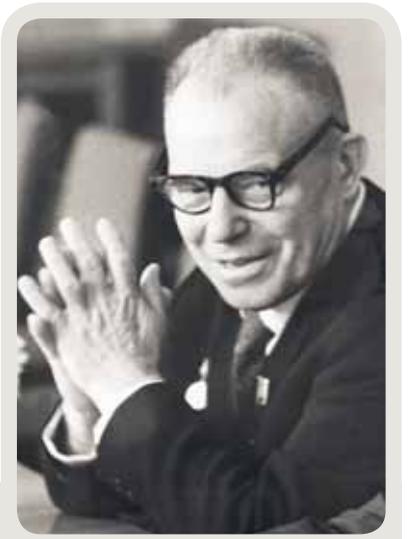
В природных условиях высокого давления и низких температур газогидраты образуются главным образом из углеводородных газов (чаще всего метана) в глубоководных осадках морей и океанов и в районах вечной мерзлоты.

Так как метан является источником органического углерода, а его общее расчетное количество в виде гидрата больше, чем во всех залежах планеты вместе взятых, то газогидраты сегодня рассматриваются как возможный альтернативный источник энергетического сырья.

Чсть открытия этого топлива будущего принадлежит сибирской геологической школе академика А. А. Трофимука. К концу 1970-х гг. ученым удалось подтвердить гипотезу

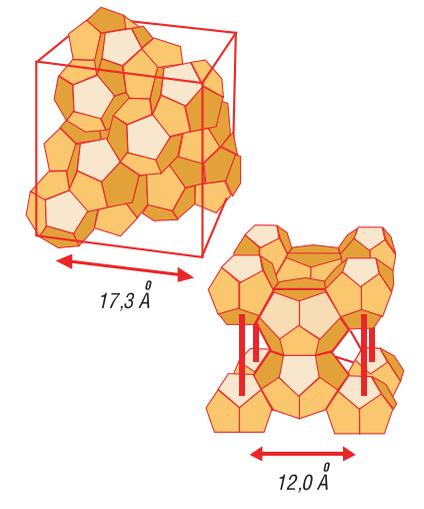
о существовании газогидратных залежей в земной коре: располагая данными по электросопротивлению газогидратного керна, они провели анализ промыслово-геофизического материала по газовым скважинам, обнаружив около 30 промышленных залежей газогидратов в Западной Сибири, Якутии и др.

Пока технологии добычи и промышленного использования газогидратов не существует, но ее разработка является важнейшей стратегической задачей завтрашнего дня.



А. А. ТРОФИМУК — академик АН СССР, заместитель председателя Сибирского отделения АН СССР (1958—1988 гг.), организатор, директор, почетный директор Объединенного института геологии, геофизики и минералогии АН СССР и СО РАН (1957—1999 гг.)

Подробнее на:
www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/
в разделе «Науки о земле»



Поиск газогидратов на Байкале (2001).
Фото В. Короткоручко

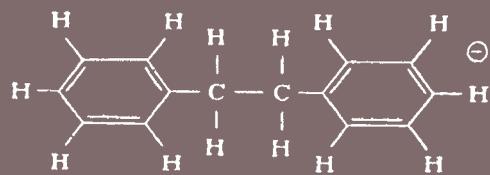


Коллеги-геологи на 80-летию академика А. А. Трофимука

1970 В Государственном реестре научных открытий зарегистрировано открытие газогидратов

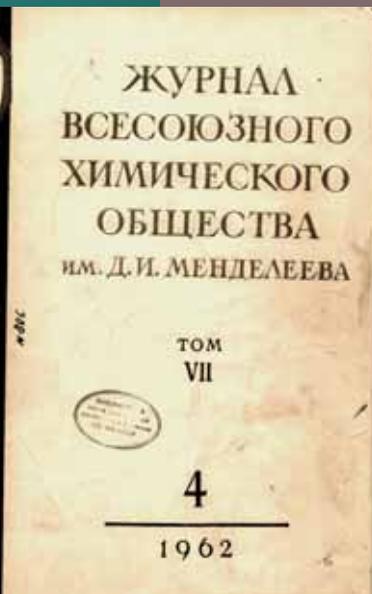
Сила слабых взаимодействий

В спиновой химии, как ни в какой другой науке, наблюдается преемственность поколений



5 эрстед

Спектр ЭПР анион-радикала дибензила однозначно свидетельствует о существовании быстрых перескоков неспаренного электрона между фенильными кольцами, разделенными насыщенными связями



О слабых взаимодействиях в органической химии

Член-корреспондент Академии наук СССР В. В. ВОЕВОДСКИЙ, доктор химических наук Л. А. БЛЮМЕНФЕЛЬД

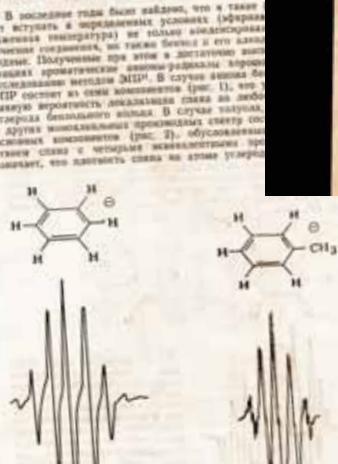


Рис. 1. Спектр ЭПР отрицательного ион-радикала бензола (C₆H₅CH₂⁻). Рис. 2. Спектр ЭПР отрицательного ион-радикала бензола (C₆H₅CH₂⁻).

1962 Вышла программная статья «О слабых взаимодействиях в органической химии», ставшая основой нового направления — спиновой химии



Подробнее на: www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/ в разделе «Химические науки»



В. В. Воеводский — академик АН СССР, крупнейший советский физико-химик, один из организаторов и создателей Института химической кинетики и горения химического отделения АН СССР, а также Новосибирского государственного университета

С именем академика В. В. Воеводского связаны широко известные работы по развитию и применению физических методов исследования в химии. В. В. Воеводский одним из первых в СССР осознал всю важность применения радиоспектроскопических методов, в особенности метода электронного парамагнитного резонанса, в химических исследованиях. Его по праву можно назвать одним из создателей новой области науки — химической магнитной радиоспектроскопии. Но разработка новых методов никогда не была для Воеводского самоцелью: ученый стремился выдвигать общие химические идеи, затрагивающие пограничные области различных наук. Одной из наиболее ярких стала идея о роли слабых взаимодействий в химии. Благодаря поразительной

интуиции он предвидел появление нового направления в науке, известного сегодня как супрамолекулярная химия.

«В. В. Воеводский раньше других понял удивительную адекватность методов магнитной радиоспектроскопии химическим проблемам, адекватность, обусловленную, в конечном счете, тем, что диапазон частот, используемых в этих методах, близок к обратным временам элементарных химических актов. Он был убежден, что ход химического процесса определяют не только сильные взаимодействия, связанные с большими изменениями энергии реагирующих частиц, но и взаимодействия слабые, управляющие, влияющие на вероятность процесса, но практически не меняющие энергетического спектра» (Международный сборник памяти В. В. Воеводского, 1972).

Эти комментарии появились уже после безвременной кончины ученого. Ученики Воеводского активно включились в разработку и развитие прямых физических методов исследования слабых межмолекулярных и внутримолекулярных взаимодействий, а также в поиск химических процессов, в которых такие взаимодействия могли бы играть решающую роль.

В новосибирской и московской лабораториях Воеводского был проведен обширный цикл исследований делокализации неспаренного электрона в комплексных соединениях и стабильных свободных радикалах. В дальнейшем исследовании, которые осуществлялись в лабораториях Воеводского, сосредоточились на изучении процессов переноса спина (спиновый обмен) в растворах, где, как было показано, слабые взаимодействия, обусловленные делокализацией спиновой плотности, имеют важное значение. Мо-

нография, опубликованная по результатам этих работ (*Spin Exchange*, 1980), до сих пор широко цитируется, оставаясь теоретическим фундаментом для исследований по химии и молекулярной биологии, в которых используются спиновые зонды.

В конце 1960-х — начале 1970-х гг. были открыты новые явления, которые можно рассматривать как блестящую иллюстрацию роли слабых взаимодействий в химических реакциях. Это так называемые магнитно-спиновые явления, включающие химическую поляризацию ядер и электронов, влияние постоянных и переменных магнитных полей и полей магнитных ядер на реакции свободных радикалов. В данных реакциях слабые магнитные взаимодействия оказывают «управляющее» воздействие на ориентацию электронных спинов и, следовательно, на протекание в растворах элементарного химического акта. Это направление исследований в дальнейшем получило широкое развитие и стало известно под названием спиновая химия.

Первостепенный вклад в становление и развитие нового направления химической физики внесли отечественные ученые школы В. В. Воеводского, удостоенные в 1986 г. Ленинской премии за цикл работ «Магнитно-спиновые эффекты в химических реакциях».

Современные работы в области спиновой химии ведутся как за рубежом, так и в нашей стране, в том числе в СО РАН: в Институте химической кинетики и горения и в Международном томографическом центре. Все исследования координируются Международным комитетом по спиновой химии, в котором Россию представляют два новосибирских ученых. Каждые два года этот комитет проводит международные конференции в разных странах, причем делегации Сибирского отделения, как правило, самые представительные и молодые по возрасту.

Академик В. В. Воеводский умер, не дожив до 50-ти лет. Государственная премия за цикл работ «Физика и химия элементарных химических процессов» была присуждена ему посмертно. Каждые пять лет проводятся конференции, посвященные его памяти: попеременно в Москве и в Новосибирске; его имя носят улица в Академгородке, международная научная премия, премия для молодых ученых СО РАН, а также стипендия для студентов НГУ. Память об академике Воеводском увековечена на мемориальной доске, которая расположена на здании института, но главное: его мысли и идеи продолжают жить в работах его учеников.

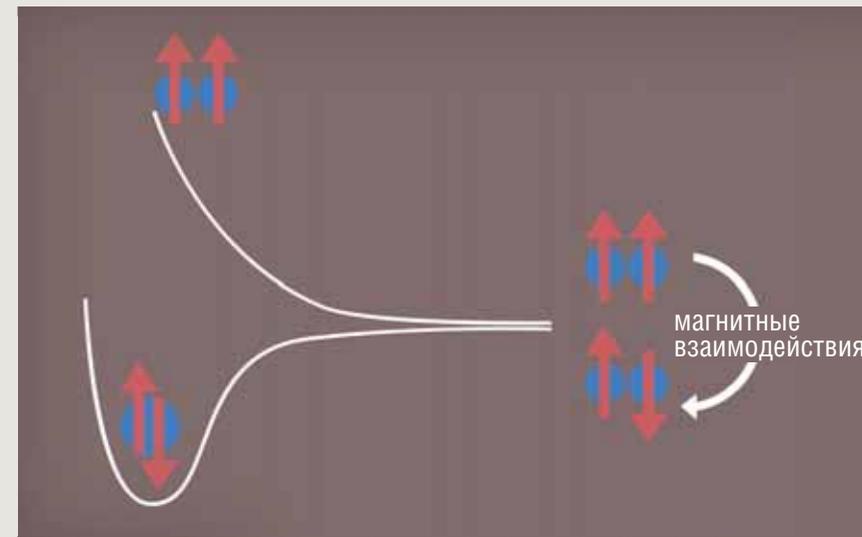
Академик Ю. Н. Молин, академик Ю. Д. Цветков
(Институт химической кинетики и горения, ННЦ)



Академик В. В. Воеводский оставил после себя новые направления в химии и талантливых учеников.

«Главное, что привлекало к нему людей, — это выдвижение принципиально новых глубоких идей в области фундаментальных нерешенных проблем химии. Все многочисленные экспериментальные работы Владислава Владиславовича и его школы были направлены на проверку и становление этих общих идей. Именно это свойство отличает особо крупных ученых всех времен и наиболее способствует развитию науки» (лауреат Нобелевской премии по химии академик Н. Н. Семенов).

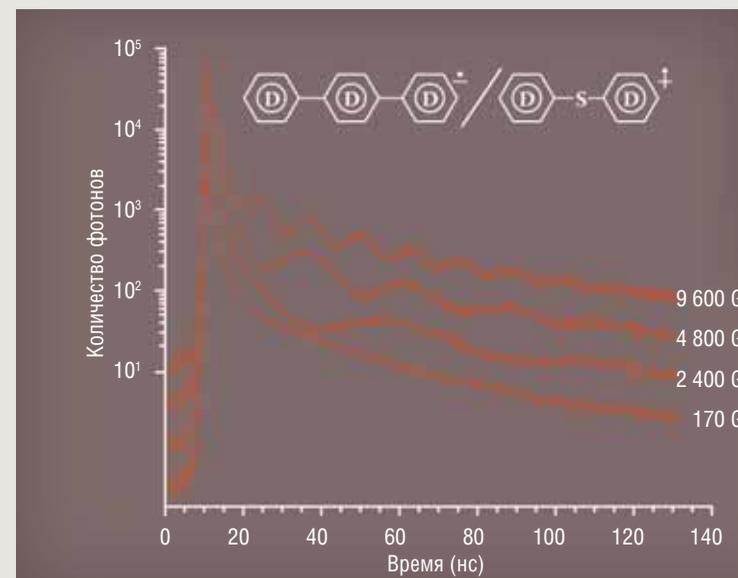
Академик В. В. Воеводский:
«В современной экспериментальной и теоретической химии наблюдается повышенный интерес к взаимодействиям в структурах, размеры которых велики по сравнению с межатомными расстояниями в молекулах. Речь идет о взаимодействиях, обусловленных электронным обменом или делокализацией электронов между отдельными слабо связанными центрами. Энергии этих взаимодействий, соответствующие частотам делокализации или обмена, как известно, весьма малы. Если исключить из рассмотрения тривиальный случай систем с очень большим сопряжением (конденсированные ароматические структуры, полиеновые цепочки и т. д.), то энергии взаимодействия оказываются настолько малыми (на несколько порядков меньше кТ), что они не могут сколько-нибудь существенно изменить энергетический спектр отдельных молекул. Однако даже столь слабые взаимодействия в коллективе, состоящем из достаточно большого числа молекул определенных типов, при выполнении некоторых геометрических условий могут привести к значительному изменению энергетики системы в целом, что может проявиться в возникновении новых физических свойств структуры. В макромолекулах поли-



Магнитные взаимодействия (внешние магнитные поля, резонансные микроволновые поля, поля магнитных ядер) меняют взаимную ориентацию электронных спинов и возможность протекания реакции между двумя радикалами

меров и биополимеров, в различных конденсированных системах, на поверхности гетерогенных катализаторов элементарный химический акт, который можно формально описать через разрыв и образование лишь небольшого числа связей, в действительности нельзя, по-видимому, рассматривать в отрыве от взаимодействия с остальной структурой, в том числе с другими центрами реакции. С другой стороны, необходимо иметь в виду, что частоты слабых взаимодействий близки к частотам отдельных элементарных химических актов. По этой причине такие слабые взаимодействия могут оказывать большое влияние на химические процессы. Так, например, достаточно быстрая делокализация электрона может привести к резкому увеличению поперечного сечения реакции»*.

* Журнал Всесоюзного химического общества им. Менделеева. — 1962. — Т. VII. — № 4.



Вероятность реакции рекомбинации радикальных пар, регистрируемой по интенсивности флюорисценции после импульсной ионизации вещества, периодически меняется при наложении внешнего магнитного поля. Это — пример квантовых биений, которые обусловлены слабым взаимодействием электронных спинов с полем; одна из ярких иллюстраций роли слабых взаимодействий в химических реакциях

Лекарство для генов

1967 Опубликована первая работа по олигонуклеотидам — ген-направленным биологически активным веществам



Подробнее на: www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/ в разделе «Науки о жизни»

Давняя мечта медиков — иметь в своем распоряжении вещества, которые действовали бы на конкретные гены, т. е. на первопричину многих болезней. Ведь на основе таких веществ можно создавать лекарственные препараты — настоящие «волшебные пули», способные поражать наследственный материал различных инфекционных агентов, не принося вреда организму человека, а также подавлять активность онкогенов, ответственных за злокачественный рост клеток. Создание подобных веществ, направленно воздействующих на генетический материал, — одна из главных задач молекулярной биологии, поскольку с их помощью можно исследовать функции генов и, в конечном счете, управлять работой последних.

Но каким образом можно изменить нужную генетическую программу? Ведь все гены имеют сходные химический состав и структуру: различия между ними сводятся лишь к порядку чередования четырех мономерных блоков — нуклеотидов А, Т, G, С. Для того чтобы воздействовать на определенный ген, молекула вещества должна каким-то образом распознать эту нуклеотидную последовательность — задача, на первый взгляд, неразрешимая.

Но группа сибирских химиков, приехавших в Новосибирский академгородок в первые годы его создания, считала иначе. Сотрудники Института органической химии СО АН СССР (Новосибирск) Н. И. Гринева

и Д. Г. Кнорре на основе принципа молекулярного узнавания, используемого самой природой, сформулировали идею направленного воздействия на гены с помощью олигонуклеотидов — фрагментов нуклеиновых кислот, «вооруженных» специальными химическими группами. Первую работу по олигонуклеотидам сибирские химики опубликовали в 1967 г. — именно эта дата и считается сегодня официальной датой возникновения нового направления в молекулярной биологии и фармакологии.

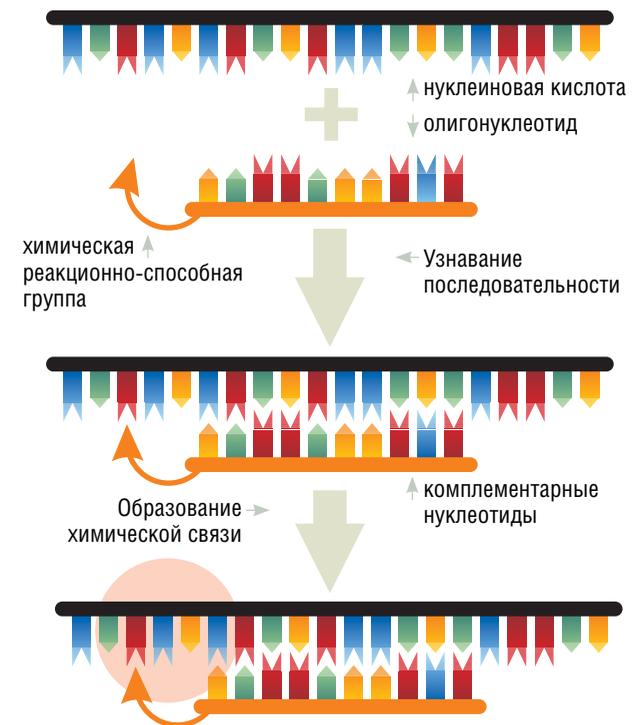
Они были первыми

Осуществление этого необычного по смелости проекта (в то время нигде в мире даже не планировалось проведение подобных исследований) на начальной стадии велось небольшой группой молодых сотрудников, аспирантов и студентов НГУ. Начинать пришлось практически с нуля, поскольку тогда еще не умели синтезировать олигонуклеотиды в заметных количествах; не существовало технических приборов, необходимых для работы с малыми количествами нуклеиновых кислот и эффективной методики определения их последовательности. Решить эти проблемы нашим химикам удалось благодаря междисциплинарности — одному из принципов, легших в основу деятельности Сибирского отделения.

В НИОХ было организовано производство нуклеиновых кислот, разработаны методы их химической модификации; совместно с сотрудниками Института ядерной физики удалось создать приборы для анализа нуклеиновых кислот и манипуляции с их малыми количествами, а совместно с химиками МГУ — развернуть работы по созданию автоматических синтезаторов олигонуклеотидов. В результате в распоряжении ученых оказались практически все необходимые аналитические методы и приборы — биологические исследования можно было начинать.

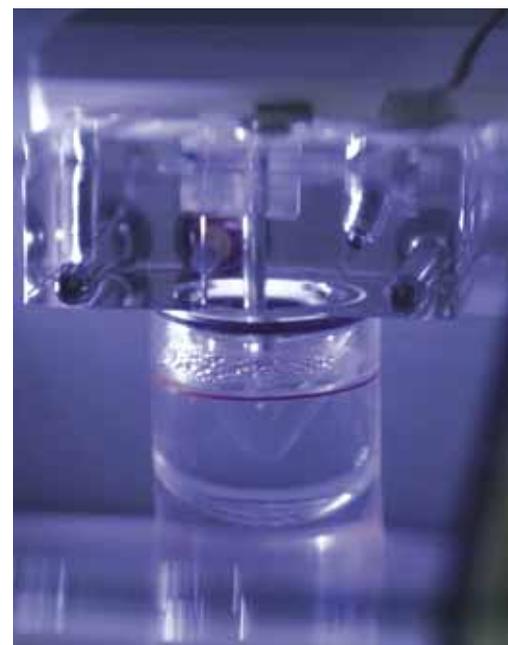
Эксперименты, проведенные сначала на простых моделях, а затем на природных нуклеиновых кислотах, показали, что олигонуклеотиды действительно взаимодействуют с нуклеиновыми кислотами — мишенями с высокой степенью избирательности. В том случае, когда к олигонуклеотидам присоединены реакционно-способные группы, происходит направленная химическая модификация мишеней — нуклеиновых кислот. К тому же, впервые было продемонстрировано, что с помощью этих реагентов можно подавить вирусные инфекции у животных, а также доказана возможность введения их в организм через кожу и слизистые оболочки и т. п.

Ранние публикации, посвященные биологическим эффектам, производимым олигонуклеотидами, вызвали огромный интерес специалистов во всем мире. В 1988 г. в Академгородке был проведен первый в мире симпозиум по ген-направленным веществам на основе фрагментов нуклеиновых кислот. В работу по созданию подобных препаратов включились ученые США, Франции, а затем и других стран; возникли десятки



На схеме — направленная химическая модификация нуклеиновой кислоты реакционно-способным производным олигонуклеотида

Д. Г. Кнорре с первыми сотрудниками лаборатории химии природных полимеров (1962 г., Институт гидродинамики СО АН СССР)





Д. Г. КНОРРЕ — академик РАН, специалист в области химической кинетики, молекулярной биологии и биоорганической химии. Заведующий лабораторией химии природных полимеров (1960—1984 гг.), отделом биохимии и лабораторией химии нуклеиновых кислот (1970—1984 гг.) Института органической химии СО АН СССР, директор Института биоорганической химии СО АН СССР и СО РАН (1984—1996 гг.)

Антисмысловые подходы, основанные на использовании нуклеотидов и нуклеиновых кислот для подавления биологической активности нуклеиновых кислот, сулят интересные перспективы в тех случаях, когда нужно задать реализацию нежелательной информации в живых организмах. В первую очередь открывается перспектива создания нового поколения противовирусных и противоопухолевых препаратов. Такие препараты имеют одно неоспоримое преимущество перед другими... Все олигонуклеотиды независимо от мишени, на которую они нацелены, могут быть созданы по единой технологии. Варьировать нужно только последовательность нуклеотидов. В частности, в вирусологии и онкологии часто приходится сталкиваться с таким явлением, как возникновение устойчивости к препаратам. Это происходит чаще всего потому, что у отдельной вирусной частицы или отдельной раковой клетки происходит мутация, приводящая к такой устойчивости. В любом другом случае нужно начинать эмпирический поиск нового лекарственного препарата. В случае антисмысловых воздействий нужно только определить, какое изменение в структуре вирусного генома или онкогена привело к появлению устойчивости. После чего сразу становится ясным, как по той же единой технологии создавать новый препарат*.

* Соросовский образовательный журнал. — 1998. — 12. — С. 25—31.

компаний, поставивших перед собой цель создать терапевтические препараты на основе олигонуклеотидов.

Комплементарное лекарство

Первыми из препаратов ген-направленного действия стали так называемые антисмысловые олигонуклеотиды, предназначенные для избирательной инактивации вирусных РНК и некоторых клеточных РНК. Изначально предполагалось, что к этим олигонуклеотидам будут присоединены реакционно-способные группы, которые должны химически модифицировать или разрушать целевые нуклеиновые кислоты. Однако выяснилось, что присоединение олигонуклеотидов к РНК-мишени само по себе оказывает на нее настолько большое влияние, что может провоцировать ее разрушение клеточными ферментами.

Самым мощным средством «выключения» генов оказались интерферирующие РНК — короткие двуцепочечные комплексы из РНК-олигонуклеотидов. Когда такой комплекс вводят в клетку, одна из цепочек связывается с комплементарной ей последовательностью в информационной РНК клетки. Это служит сигналом к началу работы группы ферментов, которые разрезают РНК, связанную с олигонуклеотидами. В результате программа синтеза определенного белка исчезает.

В 2006 г. за объяснение действия механизма РНК-интерференции два американских исследователя были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине. Создание регуляторов экспрессии генов на основе интерферирующих РНК открыло большие возможности для получения широкого спектра высокоэффективных нетоксичных препаратов, подавляющих экспрессию практически всех, в том числе опухолевых и вирусных, генов.

Правильные мутации

Внимание специалистов давно привлекают и методы мутагенного воздействия на ДНК с помощью олигонуклеотидов или их производных. В случае успеха может стать реальным то, что сегодня кажется фантастикой: коррекция дефектных генетических программ.

Экспериментально уже доказано, что с помощью коротких олигонуклеотидов можно вносить в генетические программы точечные мутации. Как это осуществить? Мутагенные олигонуклеотиды, содержащие «неправильные» нуклеотидные блоки, вводятся в клетку, где они соединяются с ДНК. В результате в некоторых участках нуклеотидных последовательностей появляются «неправильные», т. е. некомплементарные, пары оснований, что и воспринимается клеточной системой репарации («ремонта») ДНК как повреждение. Нуклеотиды в подобной паре заменяются репаратив-

ными ферментами таким образом, чтобы она стала «правильной», комплементарной. При этом замена может происходить как в олигонуклеотидной последовательности, так и в самой клеточной ДНК.

В последнем случае мы имеем дело с изменением генетической программы, т. е. с мутацией. И хотя эффективность подобного мутационного процесса в целом невелика, он может быть использован применительно к новым клеточным технологиям. Например, стволовые клетки больного с каким-либо наследственным нарушением можно обработать избирательным мутагеном, а затем отобрать те из них, в которых произошла нужная мутация (т. е. клетки с «исправленной» генетической программой), размножить и ввести в организм.

Таким образом, существующие на сегодняшний день олигонуклеотиды способны регулировать «работу» генов на различных уровнях. Так, вышеупомянутые антисмысловые олигонуклеотиды и интерферирующие РНК работают на стадии синтеза белка, воздействуя на матричные РНК — информационные молекулы, в которых происходит сборка полипептидных цепочек. Антитенные олигонуклеотиды, образующие комплексы с ДНК, подавляют экспрессию генов — образование самих матричных РНК, а олигонуклеотиды-аптамеры могут, подобно антителам, образовывать связи с определенными белками, блокируя их. Кроме того, некоторые олигонуклеотиды способны стимулировать работу иммунной системы — сегодня их используют в качестве компонентов вакцин.

В настоящее время разработку и синтез олигонуклеотидов и их аналогов ведут большие исследовательский и индустриальный секторы. Так, в прошлом году только объем рынка олигонуклеотидов, предназначенных для исследовательских целей, превысил 800 млн долларов! Сейчас разработаны

и синтезированы десятки новых видов химически модифицированных олигонуклеотидов, идут испытания ряда противовирусных и противовоспалительных препаратов, полученных на их основе. Исследования подобного рода в России сейчас проводятся в основном в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, где работают ученики и последователи академика Д. Г. Кнорре.

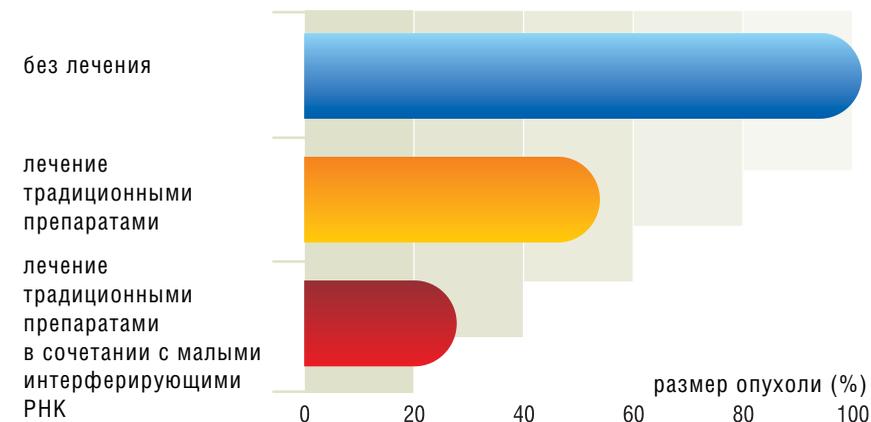
Вот так плодотворность идеи, возникшей в Сибирском отделении сорок лет назад, была доказана самой жизнью. Используя в качестве базовых структур для создания ген-направленных биологически активных веществ короткие фрагменты нуклеиновых кислот, можно быстро разработать и внедрить в производство специфические лекарственные препараты практически против любого вируса. Для этого необходимо лишь расшифровать нуклеотидную последовательность вирусных генов, что несложно сделать с помощью современных технологий. У этого универсального подхода большое будущее: результаты исследований последних лет, в частности по на-



Ученик Д. Г. Кнорре директор ИХБФМ СО РАН В. В. Власов

правленному мутагенезу, позволяют рассчитывать на появление в скором времени эффективных лекарств для борьбы с заболеваниями, до сих пор считающихся неизлечимыми.

Академик В. В. Власов (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, ННЦ)



Специалисты ИХБФМ СО РАН на примере лимфосаркомы мышей линии СВА показали, что развитие опухоли можно подавить более эффективно, если проводить лечение традиционными лекарственными препаратами в сочетании со специфическими малыми интерферирующими РНК. Эти РНК способны подавлять функцию гена *mdr1*, обеспечивающего устойчивость опухолей к ряду лекарственных средств



Эволюционный эксперимент

С именем академика Д.К. Беляева связано, прежде всего, изучение основного биологического процесса — эволюции. Ученый начал разрабатывать совершенно новую, неведомую генетикам, главу теории формообразовательных процессов, касающуюся взаимоотношения основных факторов эволюции: изменчивости и отбора — и использовал необычный для подобных исследований метод — эксперимент



Подробнее на:
www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/
в разделе «Науки о жизни»

Д. К. БЕЛЯЕВ — академик АН СССР, выдающийся генетик-эволюционист, директор Института цитологии и генетики (1959—1985 гг.)

Доместикация подобна катаклизму. В ее условиях взрыв формообразования и направление по новым путям происходят благодаря тому, что расшатываются гомеостатические системы, созданные предшествующей эволюцией, и из запасов мобилизационного резерва извлекаются глубоко запрятанные формы генетического материала (дремлющие гены).

<...>Эксперимент с одомашниванием позволяет заглянуть в потенциальные возможности вида. Любую такую возможность наука способна, если надо, реализовать: ведь, по определению Н. И. Вавилова, селекция — это эволюция, управляемая волей человека.

<...>Но неужели тайна изменений безвозвратно утеряна в веках и тысячелетиях? Неужели нельзя воспроизвести великий биологический эксперимент, соразмерив его с продолжительностью человеческой жизни? Оказывается, можно*.

* Беляев, Д. К., Трут, Л. Н. *От естественного отбора к искусственному: чудеса селекции // Наука в СССР. — 1982. — №5*



Одним из специфических эволюционных событий является одомашнивание (домашнивание) животных. Со времен Ч. Дарвина не прекращаются дебаты о масштабах и темпах одомашнивания, которые нельзя объяснить с помощью генетической теории. Представлялось целесообразным экспериментально проследить тот эволюционный путь, который проходят животные, вовлеченные в сферу одомашнивания, в условиях действия отбора по поведению.

Такой крупномасштабный эксперимент по воспроизведению самого раннего этапа одомашнивания и был начат Д. К. Беляевым еще в начале 1950-х гг. на серебристо-черной лисице. Сущность его заключалась в отборе лисиц на толерантное отношение к человеку. В результате удалось создать уникальную, известную во всем мире, популяцию одомашненных лисиц. Более того, эксперимент этот проводится и в настоящее время.

Из лисиц — в собаки

Результаты необычного эволюционного эксперимента показали, что генетическое преобразование поведения (из дикого — в домашнее) влечет за собой морфологические и физиологические изменения, сходные с теми, которые произошли в историческом прошлом у собак и других домашних животных. Из физиологических изменений следует, прежде всего, отметить усиление активности главной жизненной функции — репродуктивной — и ослабление функционального состояния гормональной системы адаптации и стресса — гипоталамо-надпочечниковой. Иными словами, под влиянием отбора по характеру поведения разрушаются физиологические и морфологические системы, созданные и поддерживаемые в природе стабилизирующим отбором. Теория этого отбора была разработана И. И. Шмальгаузенем.



Ручные лисицы (фото внизу) являются продуктом длительного отбора лисиц дикого фенотипа (фото сверху) из фермерских популяций на приручаемость, который ведется в Институте цитологии и генетики уже более 45 лет. За годы эксперимента от селекционируемых лисиц удалось получить и испытать их на способность к одомашниванию более 50 000 потомков





Основатель СО АН СССР академик М. А. Лаврентьев и академик Д. К. Беляев, внесший большой вклад в создание и развитие Института цитологии и генетики, а также в возрождение генетики в стране

мехового покрова. Теперь же феномен генетического «молчания» признается всеми учеными. Так, имеются экспериментальные данные, указывающие на то, что эволюция человека сопровождалась изменением функциональной активности некоторых генов.

Идея Д. К. Беляева о дестабилизирующем отборе была высоко оценена его зарубежными коллегами. «Нелегко биологу оценивать процессы эволюции, канувшие в историческое прошлое. Но порой один эксперимент с искусственным отбором может воссоздать полезную картину того, что имело место в природе. Один знаковый, поворотный эксперимент такого рода действительно был выполнен с лисицами... Этот крупномасштабный, не предсказанный (оригинальный) эксперимент, действительно, может рассматриваться как один из наиболее интригующих систематических исследований природы эволюционных процессов» (Copping, Feinstein, 1991).

А вот что писал уже в 2003 г. американский генетик Г. Ларк: «Я все больше убеждаюсь, что эксперимент с лисицами — один из крупнейших экспериментов последних нескольких десятилетий. Это выглядит так, словно вы в Новосибирске знали, что будет необходимо для интегративной количественной генетики в будущем. Беляев должен быть великим человеком».

Сходный характер изменений животных в условиях доместикации, также как и высокие темпы их возникновения, трудно объяснить с позиций тривиальных генетических механизмов. Почему животные, вовлеченные в сферу доместикации и никогда ранее не встречавшиеся на эволюционных путях, начинают эволюционировать в одном направлении? Этот вопрос наводит на мысль, о том, что имеется универсальный генетический механизм формообразования при доместикации на самом первом этапе, что отбор на этом этапе у всех животных действует на какие-то специфичные для доместикации регуляторные локусы.

На основе всех этих фактов Беляев сформулировал принципиально новое представление о наличии в природе дестабилизирующего отбора как специфической формы движущего отбора, результатом которого является дестабилизация регуляционных систем онтогенеза (индивидуального развития) и, как следствие, резкое повышение темпа формообразования.

Смена стабилизирующей фун-

кции отбора на дестабилизирующую осуществляется в результате того, что под специфическим давлением отбора по поведению находится нейро-эндокринная система, являющаяся ключевой системой регуляции хода всего онтогенеза. Этим объясняется резкое повышение темпов формообразования в экстремальных условиях среды, каковыми являются условия неволи. Изменчивость в неволе возникает по причине ломки стабилизированных систем развития, в результате чего могут активизироваться и проявиться в фенотипе гены, бывшие ранее функционально неактивными.

Идея Беляева о роли функциональной активности генов в эволюции изменений носила в то время гипотетический характер и подкреплялась лишь данными об аномалиях в наследовании некоторых мутаций, вовлекаемых в контроль характера пигментации



1960 Начат уникальный эксперимент по одомашниванию серебристо-черных лисиц

«Одомашнивание» человека

Часто проводят параллели между антропогенезом и доместикацией. Но какая связь может существовать между эволюционными преобразованиями, например, домашней собаки и человека — вершины эволюции всей жизни на Земле? В 2003 г. в одном из писем к Л. Н. Труту крупнейший эволюционный антрополог Р. Рэнгхэм писал: «Наши сегодняшние представления об эволюции человека находятся под сильнейшим влиянием вашей работы по доместикации лисиц».

Как известно, наиболее значительные этапы эволюции семейства людей (Hominidae) произошли в Африке около 5–6 млн лет назад, в результате чего ветви людей и шимпанзе отделились от общего предка. Результаты сопоставления современных африканских обезьян и археологических данных дают основания полагать, что хорошим кандидатом на роль предкового фенотипа является шимпанзоидный фенотип, который продолжает жить в шимпанзе. Но важно то, что возможным прототипом основателя родословной людей Рэнгхэм считает бонобо, или карликового шимпанзе.

Бонобо удивительно близок австралопитеку — самому древнему нашему предку. Какие же факторы привели к тому, что этот прототип отделился от общего шимпанзоидного предка, эволюционировал и стал прародителем семейства гоминидов? Вот здесь и прослеживается корреляция данных американских антропологов с данными нашего эксперимента. Дело в том, что различия между шимпанзе и бонобо почти идентичны различиям между дестимулируемыми и дикими лисицами. Прежде всего, бонобо эволюционирует в более миролюбивом направлении, что дает основание рассматривать эту человекообразную обезьяну как ручную

форму шимпанзе. Полагают, что самые ранние предки бонобо могли попасть в такие экологические условия, в которых было сильно давление отбора против внутрigrупповой агрессии на внутрigrупповое миролюбие и кооперацию.

Этот отбор, как полагают ученые, мог вызвать выявленный у бонобо комплекс физиологических и морфофизиологических изменений, сходный с таковыми у ручных лисиц. В феврале 2007 г. американский ученый пишет следующее: «С тех пор, как Дарвин привлек внимание к загадкам коррелированных изменений у домашних животных, наука ждала объяснений. Блестящий эксперимент Дмитрия Беляева открыл дверь к решению этого вопроса. Его работа — это прорыв на новый путь, важный для эволюционной антропологии не только как корректив к необъясненным адаптациям, но также потому, что специфические признаки поведения, находящиеся под давлением отбора, имеют отношение к эволюции человека. С тех пор, как появился Homo sapiens, у нашего вида,

также как и у домашних животных, уменьшаются половой диморфизм, размеры лицевого черепа и зубов и толщина костей конечностей».

Сам Беляев писал об этом процессе так: «...мы хорошо знаем, что гормоны осуществляют свою регуляционную функцию посредством изменения функциональной активности генов и что эта регуляция может носить каскадный характер. Следовательно, изменение центральной системы нейрогормональной регуляции, а именно это и имело место в ходе эволюционного формирования человека, автоматически влекло за собой резкое изменение, то есть дестабилизацию признаков и функций, стабилизированных в предшествующей эволюции. В этом смысле отбор по свойствам и функциям мозга в процессе эволюции человека вызывал такую же широкую изменчивость, так же сильно повышал темп формообразования, как это имеет место в процессе дестимуляции (одомашнивания) животных».

Д. б. н. Л. Н. Трут (Институт цитологии и генетики СО РАН, ННЦ)

Л. Н. Трут, О. Мэннинг, Д. К. Беляев, Г. Н. Киселева



В поисках оленя Золотые рога



А. П. Окладников — академик АН СССР, выдающийся археолог, историк и этнограф, создатель гуманитарной науки в Сибири, директор Института истории, филологии и философии СО АН СССР (1966—1981 гг.)

Охваченные глубоким волнением, как зачарованные, переживали мы на Шишкинских скалах волнующие часы встречи с первыми художниками человечества. Перед нами из глубины времен пробивался маленький, но уже чистый и звонкий ручеек искусства, которому предстояло в будущем стать могучей полноводной рекой. Оставалось только идти все дальше и дальше, по изгибам этого ручья, навстречу последующим тысячелетиям: от искусства палеолита к неолиту, от неолита к бронзовому, а затем к железному веку...*

* Дервянко, А. П. В поисках оленя Золотые рога. — М.: Советская Россия, 1980



Современные научные представления о становлении и развитии первобытного искусства — одного из самых загадочных и сложнейших феноменов гуманитарного знания — во многом сформировались благодаря трудам академика А. П. Окладникова. В своей книге «Утро искусства» ученый писал: «Если искусство первобытности было одним из главных средств познания окружающего мира и места человека в этом мире, трудно себе представить такие древние сообщества людей, которые бы абсолютно “чуждались” художественной деятельности».



Зарождение изобразительной деятельности Окладников относил к эпохе мустье и культуре неандертальцев, одно из древнейших захоронений которых (знаменитое погребение мальчика в гроте Тешик-Таш) он обнаружил в Средней Азии.

Изобразительные памятники — от древнейших времен до этнографической современности, от монументальной скульптуры до мелкой пластики — в его прочтении всегда представляли в качестве чрезвычайно информативного исторического источника. Так, сюжеты петроглифов свидетельствовали о повседневной жизни древних: об их способах охоты, о почитаемых животных, транспорте, оружии, а также об их ритуалах и верованиях.

На основе глубоких семантических реконструкций Окладников выделил

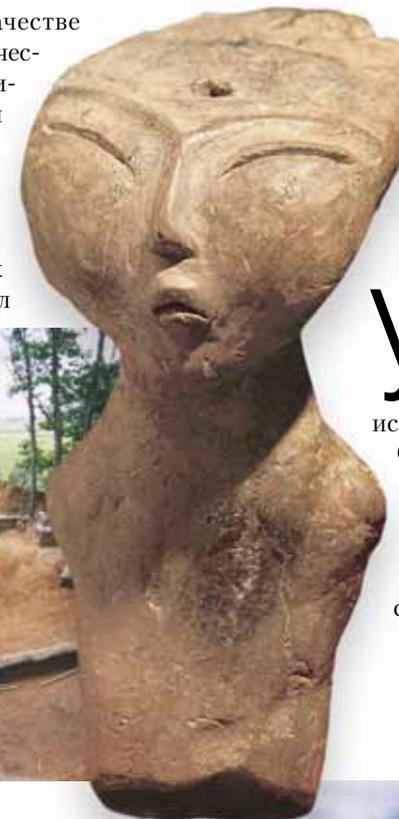


доминантные образы мифологической картины мира аборигенов Сибири, воплощенной в изобразительном искусстве. Среди ее главных персонажей — лось и благородный олень; центральным сюжетом является охота великана-охотника за золоторогим оленем, от исхода которой зависит не только судьба оленя, но и участь всего мира, а также его обитателей. Ученый доказал, что одним из древнейших мотивов общих космологических представлений северных народов является образ лося, связанный с солнцем, а сюжет о «космической охоте» восходит к мифологии охотников эпохи неолита.

Всего же более чем за пятьдесят лет научного поиска Окладников открыл и изучил сотни (!) памятников наскального искусства разных эпох, которые находятся на

огромной территории от Памира до Дальнего Востока, от Якутии до Гобийского Алтая.

Комплекс наскальных изображений на р. Лене у села Шишкино Окладников назвал скальной летописью прибайкальских племен. Но чтобы прочесть ее страницы, нужно было обладать талантом, эрудицией и самоотверженностью, в чем ученому не было равных. В доказательство этих слов стоит привести воспоминания академика В. И. Молодина о ледяной дороге, ведущей к знаменитой Турочакской писанине, по которой участники экспедиции по пояс в снегу пробивались к заветной скале. Академику Окладникову было тогда под семьдесят...



Ученики и последователи академика А. П. Окладникова, представляющие собой настоящую научную школу, продолжают исследовать древнее искусство Сибири и Центральной Азии. Сегодня совершенно очевидна продуктивность исследовательской стратегии Окладникова, равно как и то, что процесс постижения искусства бесконечен и каждое поколение ученых будет искать свои подходы к этому феномену.

К. и. н. Д. В. Черемисин
(Институт археологии
и этнографии СО РАН, ННЦ)



Новая сибирская археология

Реальные основы для развития гуманитарных наук в Сибири были заложены в начале 1960-х гг. известными учеными, приехавшими в Новосибирск из столичных городов. В 1966 г. в Новосибирском научном центре после череды преобразований был создан Институт истории, филологии и философии, получивший статус головного института гуманитарного профиля в структуре сибирской академической науки.

Крупными научными достижениями институт во многом обязан организаторскому таланту его первого директора, академика А. П. Окладникова. В круг научных интересов Окладникова входило изучение практически всех периодов развития человеческого общества: от ранней стадии каменного века до поздних этапов средневековья и нового времени. Неудивительно, что неотъемлемой частью научной деятельности института стали широкомасштабные полевые исследования в различных регионах Северной и Центральной Азии. Многие научные открытия сотрудников института вошли в золотой фонд российской и мировой археологии, о чем свидетельствует целый ряд престижных научных наград, которыми были удостоены сибирские ученые.

Заметное место в деятельности института занимают исследования, проведенные в рамках интеграционных программ фундаментальных исследований СО РАН. Например, проект «Изменение климата и природной среды в голоцене и плейстоцене Сибири в контексте глобальных изменений» объединил усилия специалистов более чем из пятнадцати институтов СО РАН. Результаты, полученные в ходе проекта «Палеогенетический анализ генофонда древнего населения Сибири», на основе молекулярно-генетического и антропологического анализов биологического материала позволили разработать этнокультурную концепцию происхождения, развития и исторической судьбы носителей пазырыкской культуры, которые населяли территорию Горного Алтая в эпоху раннего железного века.

Работы по междисциплинарным программам показали, что перспективы развития сибирской археологии во многом зависят от ее взаимодействия с естественными и точными дисциплинами, и этому способствует общая стратегия интеграции наук, положенная академиком М. А. Лаврентьевым в основу Сибирского отделения.

Д. и. н. М. В. Шуньков (Институт археологии и этнографии СО РАН, ННЦ)



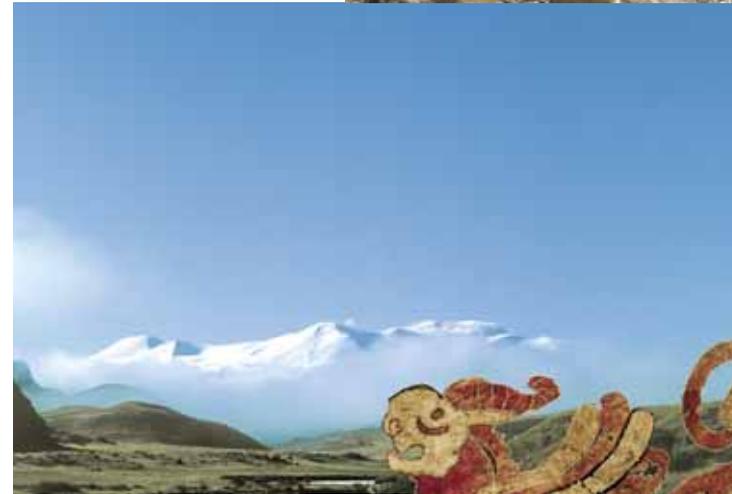
А. П. ДЕРЕВЯНКО — академик РАН, выдающийся ученый в области археологии и древней истории, директор Института археологии и этнографии СО РАН

Находки и открытия ученых Института археологии и этнографии СО РАН, сделанные за два последних десятилетия, безо всякого преувеличения, уникальны. Благодаря им на территории Северной Азии и Южной Сибири появилась возможность успешно решать научные проблемы, связанные с эволюцией человека, его древними миграциями, а также с развитием культуры.

Подробнее на: www.sciencefirsthand.ru/50yearsSBRAS/ в разделе «Гуманитарные науки»

На плато Укок южной части Горного Алтая сибирские археологи открыли неразграбленные погребальные комплексы пазырыкцев — древнего кочевого народа — фрагмента огромного мира кочевых культур Средней и Центральной Азии. В ледяных линзах могильников сохранились забальзамированные тела, покрытые искусной татуировкой и облаченные в одеяния далекой эпохи, а также высокохудожественные предметы из войлока, дерева и кожи

Академик В. И. Молодин и д. и. н. Н. В. Полосьмак, в 2005 г. были удостоены Государственной премии РФ за исследования пазырыкской культуры



Байкал — природная лаборатория

Байкал — глубочайшее и древнейшее озеро на планете, возраст которого 25–30 млн лет. Озеро содержит самый большой в мире объем поверхностной пресной воды — до 1/5 общемировых запасов: больше, чем во всех

пяти Великих американских озерах вместе взятых.

Эта величайшая впадина планеты является частью Байкальской рифтовой зоны: только несколько тысяч лет назад здесь погасли последние вулканы. Согласно данным палеолимнологических исследований, озеро приобрело современные очертания «всего лишь» несколько миллионов лет назад. Длительная история формирования Байкала и интенсивная тектоническая деятельность обусловили уникальность его животного и растительного мира.

Байкал — это не только то, что наверху, это и удивительный подводный мир, поразительно меняющийся в зависимости от глубины. По современным оценкам, видовое разнообразие фауны Байкала сопоставимо с видовым разнообразием сотен и тысяч озер Евразии. А если учесть, что около 60% видов животных является эндемиками, т. е. больше нигде не встречается, то озеро можно назвать настоящим центром биоразнообразия Евразийского континента.

Ученые давно и плодотворно исследуют Байкал. В 1977 г. на озере впервые появились знаменитые глубоководные аппараты «Пайсис» и его дно стало доступным на любой глубине. В начале 90-х «Пайсис» впервые достиг наиглубочайшей точки Байкала, открыв таинственные венты — расположенные на большой глубине выходы подземных вод и метана.

Не меньше загадок таит и дно древнего озера. Многокилометровый слой осадочных отложений содержит запись геологических и палеоклиматических изменений более чем за 30 млн лет — уникальный архив изменения климата и природной среды Центральной Азии на протяжении практически всего кайнозоя.

К началу 1990-х гг. заработал организованный при поддержке академика В. А. Коптюга Байкальский международный центр экологических исследований (BICER) — организация, в которой ученые всех стран совместно с российскими учеными могли изучать

Директор Лимнологического института СО РАН академик М. А. Грачев и председатель СО РАН академик В. А. Коптюг на предварительных консультациях по вопросам организации Международного центра экологических исследований (1989 г.).
Фото В. Короткоручко



Байкал с разных сторон. За прошедшие годы на озере побывало около 2 000 иностранных ученых, инженеров и студентов.

Примером плодотворного научного сотрудничества может служить проект «Байкал-бурение», благодаря реализации которого с 1993 г. по сегодняшний день было пробурено семь скважин глубиной от 40 до 630 м и получен «слоеный пирог» донных отложений озера длиной более 1,5 тыс. м и возрастом более 8 млн лет. А в 1997 г. со дна Байкала в результате глубоководного бурения были подняты — впервые в пресноводном водоеме! — образцы газогидратов.

В 1997 г. ЮНЕСКО включило Байкал в список участков мирового наследия. Это решение, наряду с выводами экспертов, было принято на основании результатов многолетних систематических исследований Байкала и его региона учеными Иркутского и Бурятского научных центров СО РАН, а также представителей мирового научного сообщества.

1990 Создан Байкальский центр международных исследований

Байкальская климатическая летопись

В последние 2,5 миллиона лет периоды потепления сменялись ледниковыми периодами, климат же между этими крайними точками был подобен современному. В периоды глобального похолодания вода, испарявшаяся из океана, конденсировалась на континентах, образуя гигантские ледяные щиты высотой более 2 км. Лед покрывал Северную Америку и часть Европы вплоть до широты 50–55°N и Северо-Западную Сибирь, по крайней мере, до широты 62°N. Как следствие, уровень океана падал на 100–130 м, обнажая морской шельф, и многие мелкие проливы, существующие в наши дни, на время исчезали...

Сегодня принято считать, что глобальные изменения климата, которые происходили в течение десятков тысяч лет, обусловлены астрономическими причинами, а именно: изменением интенсивности *инсоляции* — солнечной энергии, приходящейся на Северное полушарие. Последнее, в свою очередь, зависит от параметров земной орбиты и направления оси вращения Земли. Наиболее распространенным методом палеоклиматических исследований является изучение осадочных записей. В климатических записях, полученных из океанских осадков, ледовых кернов арктической станции «Восток» и лессово-почвенных разрезов Китая и Сибири, выявлены периодические изменения, период которых совпадает с периодами астрономических циклов (100, 41, 23, 19 тыс. лет).

Реальный механизм, лежащий в основе климатических изменений на временной шкале 10–100 тыс. лет, до конца не известен, но все заслуживающие серьезного внимания модели описывают его как отклик сложной системы океан-атмосфера-суша на изменение граничных условий, осложненное либо сильными обратными связями, либо пороговыми явлениями. При этом прямые точные измерения уровня океана за последние 5–10 лет ставят под сомнение даже достоверность этих

моделей: оказывается, уровень инсоляции отстает от отклика океана, уровень которого начинает повышаться чуть раньше. Тем не менее инсоляция, точнее ее изменение, является одной из важных астрономических составляющих сил, влияющих на климат.

Можно предположить, что снижение глобальных температур во время ледниковых периодов уменьшало интенсивность испарения океанских вод и степень глобальной аридизации климата. Контраст между влажными и засушливыми периодами климата должен быть наиболее резко выражен в континентальной Азии, куда влагу поставляют постоянные западные ветры из Атлантики. К тому же в ледниковые периоды усиливаются скорость и частота глобальных ветров, что подтверждается резким ростом содержания пыли во льдах Гренландии и Антарктики.

Одним из полигонов для исследований механизма климатического отклика с 1990 г. является оз. Байкал. В периоды долговременных и глубоких оледенений в горах, окружающих озеро, образовывались достаточно мощные ледники, что сопровождалось выносом в озеро так называемого «ледникового молока» — частиц разрушенных горных пород. С другой стороны, аридизация климата должна была привести к уменьшению речного притока и, следовательно, к уменьшению количества взвеси, приносимой реками в Байкал. Поскольку частицы речных взвесей и «ледникового молока» должны различаться, химический состав частиц осадка по глубине буровой колонки должен отражать распределение потоков вещества из разных источников. Подобная «запись» климатических изменений может быть использована для исследования климатических циклов в водосборе Байкала.

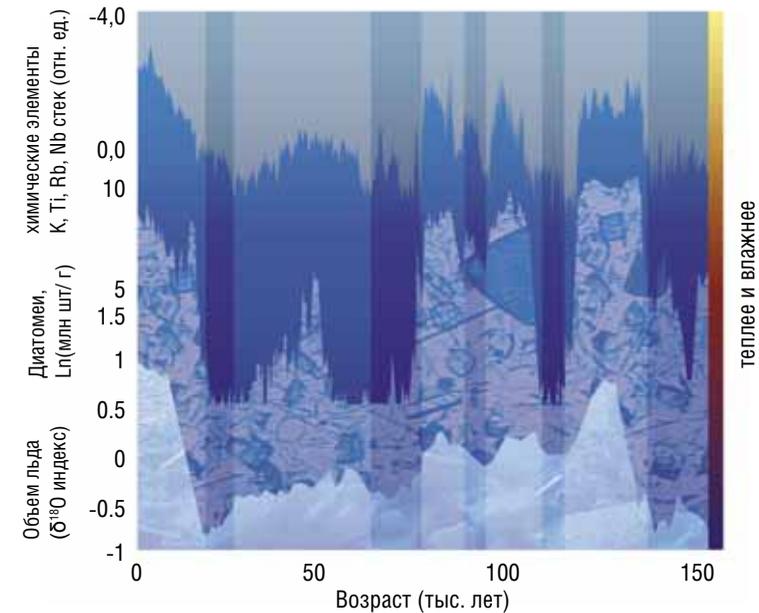
Впервые такая работа была выполнена в 1997 г. группой сотрудников Лимнологического института СО РАН, которые в Центре коллективного пользования синхротронного излучения Института ядерной физики СО РАН исследовали элементный состав осадков колонки «длиной» около 1 млн лет. Оказалось, что состав действительно периодически меняется, формируя по глубине колонки картину биений с периодами 96, 72, 54, 41, 23 и 19 тыс. лет.

А как и почему может меняться климат на относительно коротких временных шкалах? Этот интерес вызван современным глобальным потеплением, которое уже признано свершившимся фактом. Тем не менее, свидетельства в пользу его антропогенной природы не однозначны, также как и предполагаемые климатические сценарии будущего.

Рассмотрим подобные явления, происходившие в далеком прошлом. Например, при исследовании льдов Гренландии выяснилось, что во время ледникового периода (11–74 тыс. лет назад) температура здесь неоднократно резко возрастала на 10–15°С за период, рав-

ный 10–50 годам, т.е. почти в сто раз быстрее, чем при современном потеплении! Относительно теплый период продолжался 400–1000 лет, а затем температура быстро возвращалась к «ледниковому» уровню. За 60 тыс. лет такие события происходили здесь как минимум 19 раз. В последние годы следы данных климатических аномалий были обнаружены во многих частях Северного полушария, причем они были асинхронны подобным событиям, имевшим место в Южном полушарии.

Причины столь быстрых и частых климатических изменений не очень ясны, но, во всяком случае, они не связаны с орбитальными изменениями солнечной инсоляции. В последние годы были найдены



Результаты сканирования колонки осадков оз. Байкал длиной более 7 м с разрешением 1 мм (временное разрешение около 20 лет). На верхнем графике показан усредненный профиль кластогенных элементов, на среднем — содержание биогенного кремнезема (створки диатомовых водорослей) в осадках; на нижнем — объем глобальных ледовых щитов





Председатель СО РАН
академик Н. А. Добрецов

Сибирское отделение Академии наук много сделало для того, чтобы сохранить для ныне живущих и будущих поколений Байкал — один из самых известных сибирских природных феноменов. Последним

достижением в этой области можно считать запрет на сооружение трубопровода Сибирь—Тихий океан. СО РАН было против этого непродуманного строительства уже на начальной стадии проектирования. И потом, когда проект был фактически утвержден, мы продолжали настаивать на том, что вдоль берега Байкала и вдоль Трансбайкальской трассы, БАМа, строить трубопровод нельзя.

Многие противники проекта ссылались на то, что эта зона сейсмически активна, и землетрясения могут разрушить нефтепровод, в результате чего нефть будет изливаться прямо в чистые воды Байкала: подобное станет губительным для уникальной флоры и фауны озера. Но эта трактовка была неверной: в качестве контраргумента оппоненты выдвигали утверждение,

что «трубы можно сделать настолько прочными, установить такие дополнительные системы защиты, что никакое землетрясение не сможет разорвать нефтепровод». Поэтому ключевые слова здесь другие: оползни и сели, — поскольку зона предполагаемого строительства характеризовалась не только большим числом землетрясений, но и высокой влажностью по причине частых и обильных дождей и снегопадов.

Как следствие, при землетрясениях регулярно происходят оползни, и тогда может обрушиться целый склон горы: вместе со всеми защитными сооружениями, вместе с нефтяной трубой — и в Байкал... Подобное уже случалось на нескольких участках БАМа, где пришлось строить новые мосты. Не меньшую опасность представляют собой и сели — грозные грязекаменные потоки, образующиеся при бурном таянии снега или во время сильных дождей. И это касается не только Байкала, но и всей сейсмичной зоны вдоль БАМа, где планировалось построить нефтепровод.

В конце концов, наши доводы победили — трассу перенесли на 400 км севернее, что в результате принесло нам выигрыш, поскольку месторождения стали располагаться ближе к нефтепроводу. Это один из немногих, но показательных случаев, когда власти были вынуждены прислушаться к мнению ученых, несмотря на то что это мнение противоречило интересам крупного бизнеса.

свидетельства в пользу наличия в недавнем прошлом около десятка резких изменений интенсивности меридионального переноса океанских вод (одной из его ветвей является Гольфстрим) и тепла с экватора в высокие широты Северной Атлантики, которые сопровождались короткими внезапными изменениями (потеплениями — похолоданиями) климата в Гренландии.

Возможно, если удастся доказать глобальность подобных резких климатических событий в прошлом, уникальность современного потепления будет поставлена под сомнение. Но для этого нужно иметь подробные данные по палеоклимату для всех регионов мира, среди которых Сибирь является, пожалуй, наименее исследованной. Чтобы восполнить данный пробел, мы провели элементный анализ осадочных записей Байкала, но уже

с более высоким разрешением — 1 мм, т. е. около 20 лет. Это стало возможным благодаря созданию специальной сканирующей приставки к станции элементного анализа Центра синхротронного излучения, в результате чего были получены уникальные элементные записи из десятков тысяч горизонтов колонки, свидетельствующие о ходе климатических изменений в Сибирском регионе. Подобное удалось осуществить благодаря кооперации ученых разных специальностей — одному из основополагающих принципов Сибирского отделения.

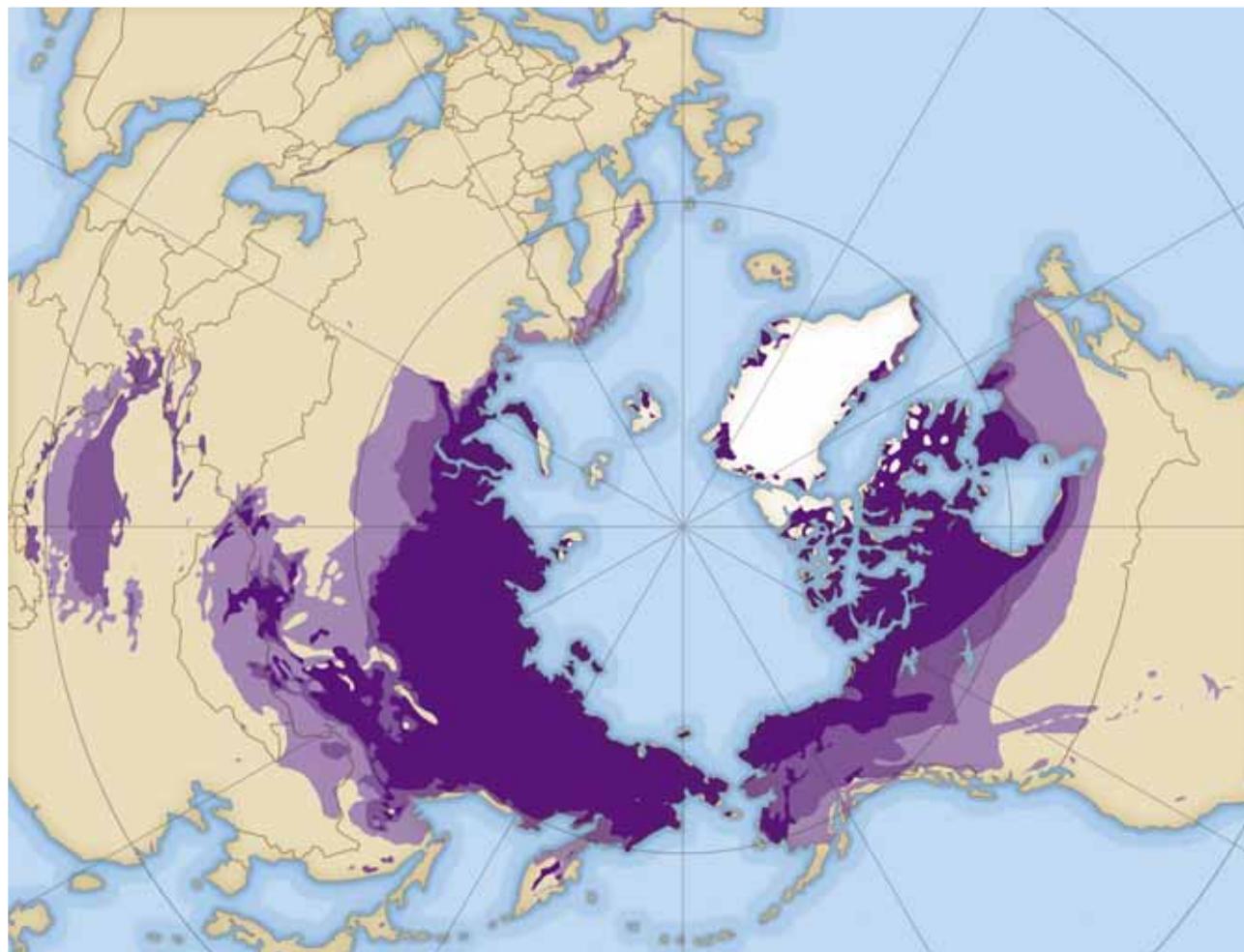
К. ф. -м. н. Е. Л. Гольдберг (Лимнологический институт СО РАН, Иркутский научный центр)



В Байкале обитает множество эндемичных экзотических видов коттоидных рыб, более известных как бычки-подкаменщики.
Фото М. Файерабенда

МЫ ЖИВЕМ НА ХОЛОДНОЙ ПЛАНЕТЕ

А. В. БРУШКОВ
М. ФУКУДА



Распространение многолетнемерзлых пород по северному полушарию Земли. Схема разработана Международной ассоциацией исследователей по вечной мерзлоте (IPA)

В публикации использованы фотографии А. Брушкова

Закаляйся,
если хочешь быть здоров!
Постарайся
позабывать про докторов.
Водой холодной обтирайся,
если хочешь быть здоров!

В. И. Лебедев-Кумач

Вряд ли можно найти такой природный фактор, который оказывал бы столь драматическое влияние на растительный и животный мир Земли, как низкие температуры. Лишь тропическая область нашей планеты, за исключением ее высокогорных районов, не испытывает на себе воздействия холода.

Периоды глобального похолодания в истории Земли, связанные с развитием ледникового покрова и сужением климатических поясов, характеризовались изменением территорий распространения и вымиранием растений и животных в огромных масштабах. В результате в так называемых *криогенных* ландшафтах сформировались системы разного уровня, основанные на циклическом (зима—лето, ледниковая эпоха—межледниковье) круговороте биологического вещества и энергии.

Негативное действие отрицательных температур на живые организмы проявляется в ослаблении их жизнедеятельности, прекращении обмена веществ и появлении повреждений, вызванных образованием кристалликов льда в их клетках и тканях. Можно выделить три температурных диапазона существования устойчивых криосистем, каждый из которых характеризуется определенными особенностями в жизнедеятельности организмов:

- от 0 до -20°C — живые клетки могут быть активны;
- от -20 до -80°C — организмы находятся в анабиотическом состоянии;
- ниже -80°C (такая температура в естественных условиях на Земле не наблюдается) — происходит полная консервация биологических объектов (Лозина-Лозинский, 1972).

«Минус», совместимый с жизнью

Научные основы криобиологии были заложены еще в конце XIX в. русским ученым П. И. Бахметьевым, который изучал явление переохлаждения у насекомых и *анабиоз* (феномен временного прекращения жизнедеятельности) у летучих мышей.

За последние сто лет накопился большой фактический материал, касающийся устойчивости высших организмов к холоду. Так, выяснилось, что некоторые растения и животные выживают даже тогда, когда вода в их теле превращается в кристаллический лед.



ФУКУДА Масами — профессор Института низких температур Университета Хоккайдо (Саппоро, Япония). Специалист в области мерзлотоведения и экологии Севера. Автор более 200 статей, руководитель многих совместных российско-японских научных проектов в Сибири

БРУШКОВ Анатолий Викторович — доктор геолого-минералогических наук, профессор Тюменского нефтегазового университета, главный научный сотрудник Тюменского научного центра СО РАН. Научные интересы — физика и химия мерзлых пород, криолитозона как область жизнеобитания микроорганизмов. Автор и соавтор 4-х монографий и более 100 статей

Например, гусеницы некоторых бабочек, предварительно «закаленные», оживали после длительного замораживания при температуре от -78 до -269°C . После замораживания остаются жизнеспособными и многие черви, в том числе гельминты. Вернулся к жизни и замороженный ветвистоусый рачок *Chydorus sphaericus*, представитель зоопланктона, найденный на глубине 3,5 м в мерзлоте, возраст которой несколько тысяч лет (Каптерев, 1936).

Крупная древесная лягушка *Rana sylvatica*, живущая на Аляске, обладает способностью впадать в глубокую зимнюю спячку, во время которой температура ее тела опускается до -6°C без ущерба для «здоровья» (Storey, Kenneth, 1990). Возможно, эта лягушка — самый близкий человеку живой организм, способный пережить настоящее замораживание.

Длительное замораживание выдерживают и растения, принимающие для этого «специальные меры». Нужно сказать, что устойчивость многих наземных организмов к температурам ниже 0°C на протяжении всего жизнен-



Байджерахи — так по-якутски называются бугры округлой формы, останцы вечной мерзлоты, возникающие вследствие вытаявания из ископаемого льда глинистого материала

В мерзлых отложениях, которые находятся в Якутии и других северных регионах, содержится большое количество метана. Возможно, этот метан — результат действия метаногенов, принадлежащих к древней группе археобактерий

ного цикла зависит от сезона года. Например, так называемое «закаливание» растений, т.е. появление у них устойчивости к морозу, происходит только осенью, когда рост растений прекращается. Деревья, выдерживающие зимой морозы до -60°C (лиственница, ель, сосна), летом погибают при температуре $-7-8^{\circ}\text{C}$. По-видимому, впервые закаливание на практике применил русский огородник Е. А. Грачев в конце XIX в. Выдерживая семена кукурузы в течение двух недель перед посевом на снегу, он получал зрелые початки кукурузы в климатических условиях Петербурга.

И конечно, низкие и даже сверхнизкие температуры хорошо переносятся многими микроорганизмами (бактериями, дрожжами). На этой способности, по существу, основаны методы их длительного хранения. Устойчивость к холоду обычно обеспечивается обезвоживанием, повышением вязкости цитоплазмы, а также наличием оболочки, препятствующей проникновению кристаллов льда в клетку.

Точка замораживания воды, содержащей различные ионы, нахо-

дится ниже 0°C и зависит от концентрации растворенных в ней веществ. В случае медленного замораживания клеток их содержимое может сохраниться в жидком состоянии при температуре значительно более низкой, чем точка заморзания соответствующего раствора. Это явление известно как *переохлаждение*. Вода, которая находится внутри клеток, в некоторых случаях не замерзает даже при температуре -20°C . Это явление было продемонстрировано на примере двустворчатых и брюхоногих моллюсков *Mytilus edulis* и *Littorina rudis* (Kanwisher, 1955).

Чтобы сохранить живые системы в условиях низких температур, применяют так называемые *криопротекторы*. Они ослабляют эффект кристаллизации, изменяя ее характер, препятствуют слипанию и денатурации макромолекул, способствуют сохранению целостности мембран клеток. Например, при замораживании спермы с целью предохранения сперматозоидов от холодовых повреждений рекомендуется добавлять к ней глицерин, яичный желток или диметилсульфоксид.

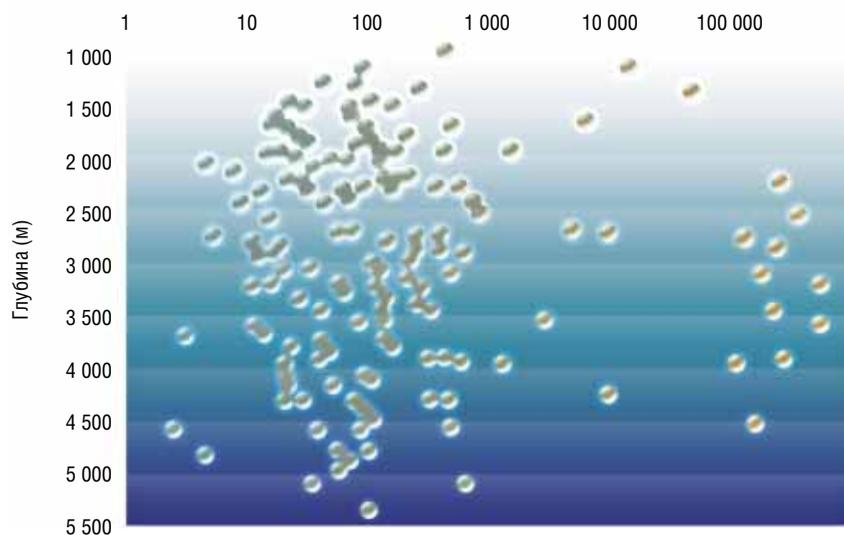
Древние экстремалы

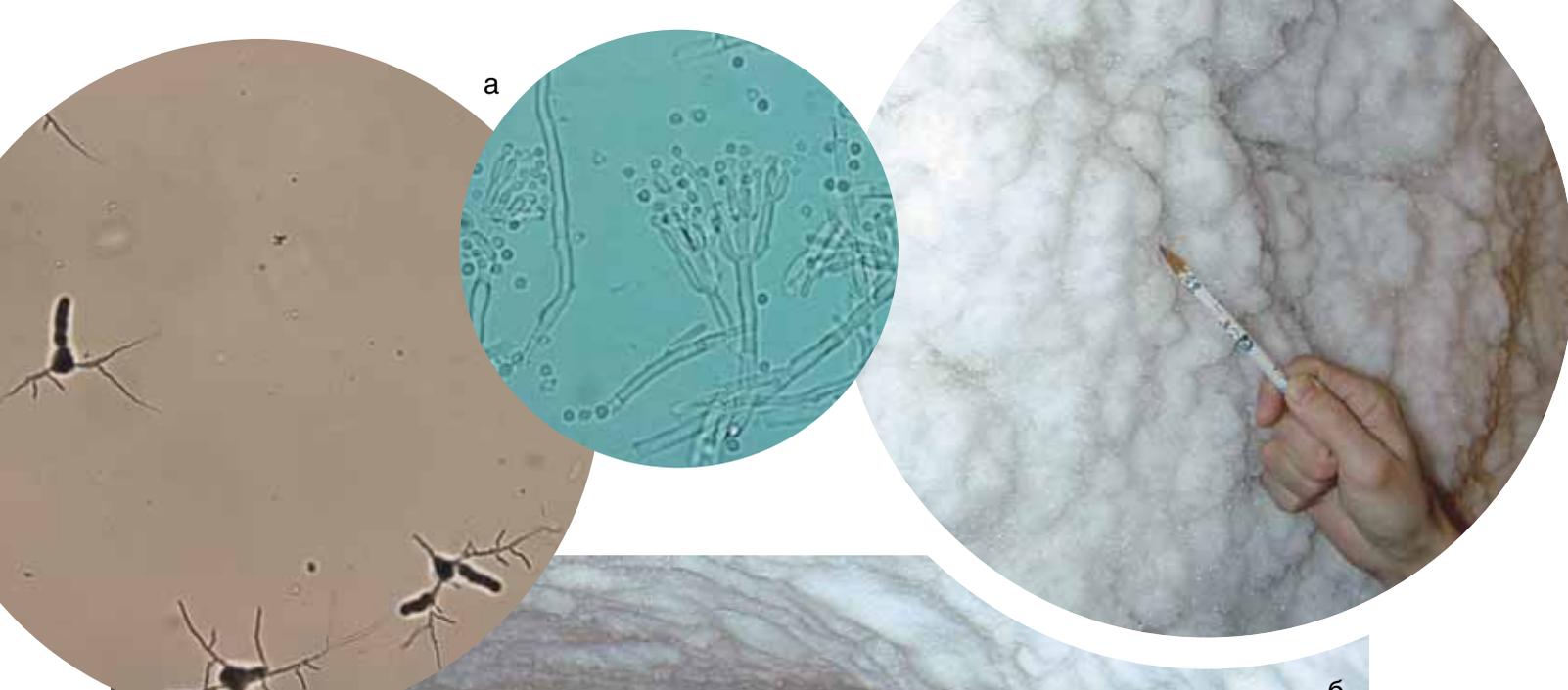
В последние годы появилось много исследований, посвященных способности микроорганизмов длительное время существовать в экстремальных условиях среды. Биологи Университета штата Пенсильвания (США) обнаружили живые бактерии в кристаллах соли, возраст которых 250 млн лет (Vreeland et al., 2000). А поскольку целенаправленные работы по поиску живых микроорганизмов в древних породах не проводятся, то возраст наиболее древних живых организмов на Земле может оказаться еще более впечатляющим.



Обнажение вечной мерзлоты на Мамонтовой горе (левый берег р. Алдан, Якутия) (б) разрушается рекой со скоростью до 1 м в год. Образцы для микробиологических исследований были отобраны из мерзлых отложений и ледяных жил (а), которые находились на глубине 0,9—1 м ниже слоя сезонного оттаивания, т.е. в условиях вечной мерзлоты

Концентрация метана в мерзлых отложениях Якутии (ppm)





На стенах подземелья Института мерзлотоведения им. П. А. Мельникова СО РАН (Тюмень) (б) на глубине около 7 м был найден белый грибной мицелий (а). Изучив морфологические характеристики гриба и проведя анализ последовательности нуклеотидов его рибосомной РНК, ученые установили, что он близок к плесневому грибку *Penicillium echinulatum* и, возможно, представляет собой новый вид

У бактерий есть удивительная способность — образовывать споры при возникновении неблагоприятных условий, превращаясь в покрытые жестким панцирем «образования» с замедленным (или остановленным) метаболизмом. Находясь в таком состоянии длительное время и подвергаясь жесточайшим воздействиям внешней среды, они способны вернуться к своей обычной жизнедеятельности при возникновении благоприятных условий. Изучение древних микроорганизмов является одним из важных направлений современной науки,

причем наибольших успехов в этой области, по-видимому, можно достичь при исследовании мерзлых пород: недаром температура большей части земной поверхности ниже +5°C.

Первая информация о жизнеспособности микроорганизмов, обнаруженных в мерзлоте, была получена в XIX в. Большинство подобных исследований проводилось на арктических и антарктических мерзлых породах, которые находились в замороженном состоянии в течение нескольких миллионов лет. Оказалось, что некоторые бактерии, которые удалось выделить из таких пород, при повышении температур до положительных значений были способны к росту (Gilichinsky, Wagener, 1995).

Во льдах в районе антарктической станции «Восток» были обнаружены бактерии, грибы, диатомеи и другие микроорганизмы. В антарктическом ледяном щите на глубине 3,6 тыс. м были найдены цианобактерии (сине-зеленые водоросли); их возраст соответствовал возрасту льда на этой глубине (около 500 тыс. лет). В лабораторных условиях выделенные изо льда штаммы микроорганизмов росли в широком диапазоне температур: от 4 до 50°C выше нуля (Абызов и др., 1979).

И все же: откуда в мерзлых породах появляются живые микроорганизмы? Способны ли они «жить», а не просто «существовать» при отрицательных температурах?

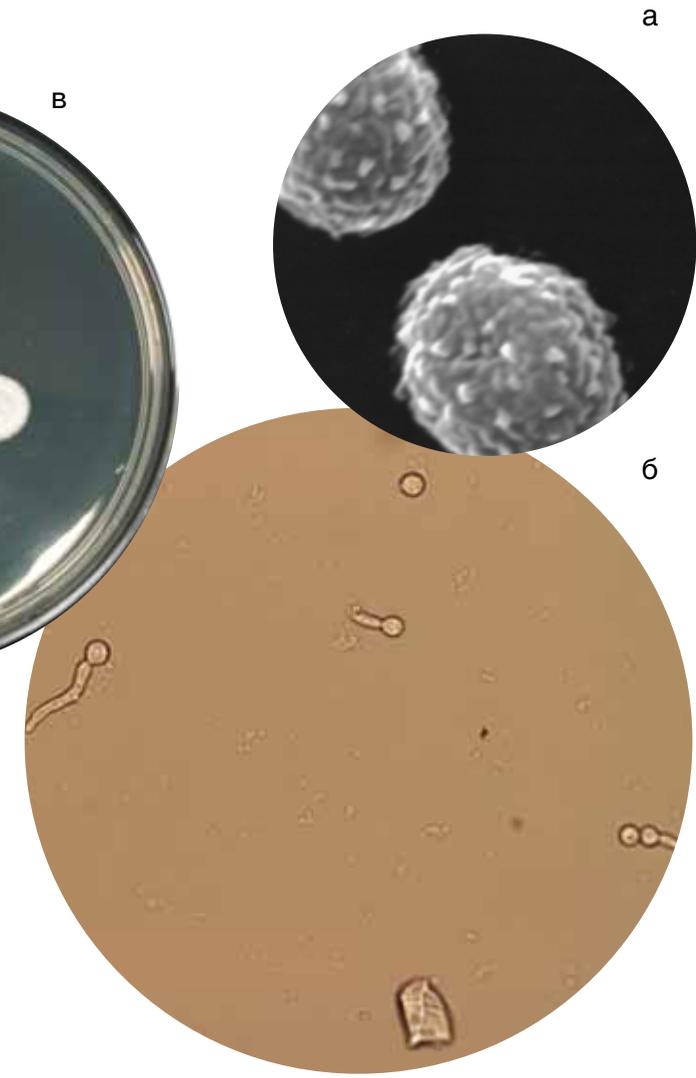
Ученые установили, что большинство микроорганизмов не могут размножаться при температурах ниже 0°C, однако это не аксиома: впервые подобные экстремалы были обнаружены Д. Фостером еще в 1887 г. Выяснилось, что процессы метаболизма у бактерий могут идти при температурах около -20°C (Friedmann, 1994), и таких фактов обнаружено немало. При температурах ниже 0°C способны расти также эукариотические микроорганизмы: некоторые дрожжи, а также грибы (Kataayama и др., 2007).

Тем не менее, следует признать, что вероятность роста и деления микроорганизмов, которые находятся в многолетнемерзлых породах, не слишком велика по причине промерзания почвы и кристаллизации в ней воды. Поры замерзающей породы насыщаются льдом на

85—90% и более. Заключенные в них микроорганизмы занимают пространство, размеры которого лишь немногим превышают их собственные; поэтому они лишены способности к движению. Следовательно, условия для их роста и размножения в вечной мерзлоте или являются неблагоприятными, или полностью отсутствуют.

Образцы грибного мицелия, найденного в подземелье Института мерзлотоведения, вместе с образцами штаммов *P. echinulatum* из банка культур были инкубированы при разных температурах. Выделенный из мерзлоты новый штамм, в отличие от ранее известных, сравнительно быстро рос при температуре -5°C. Однако, несмотря на такую устойчивость к холоду, новый штамм вполне может быть современным, занесенным с поверхности

а — споры гриба (под электронным микроскопом); б — прорастающие споры; в — рост гриба при температуре -5°C





а



б

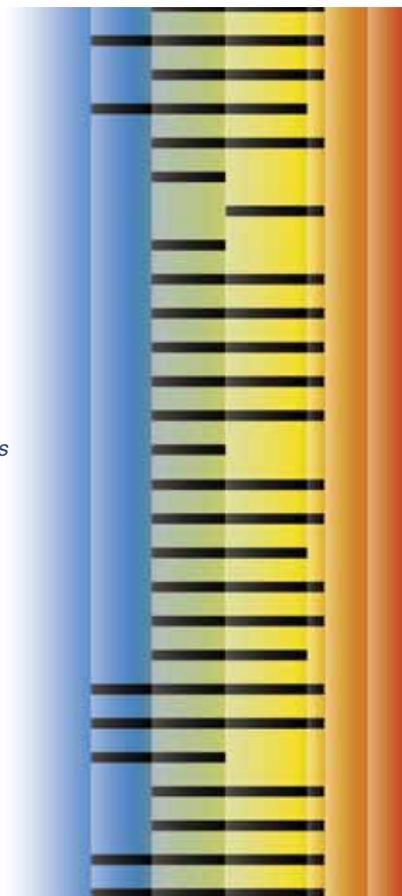


в

Виды микроорганизмов

Градусы (°C) -5 -4 15 2730 37

- Planococcus sp.*
- Planococcus sp.*
- Dietzia daqingensis*
- Rhodococcus sp.*
- Marine bacterium*
- Marine bacterium*
- Frigoribacterium sp.*
- Frigoribacterium sp.*
- Plantibacter sp.*
- Agrococcus jenensis*
- Cryobacterium psychrophilum*
- Curtobacterium sp.*
- Microbacterium sp.*
- Microbacterium hydrocarbonoxydans*
- Bacillaceae bacterium*
- Terrabacter sp.*
- Brevibacterium antiquum*
- Brachybacterium sp.*
- Brachybacterium arcticum*
- Brachybacterium tyrofermentans*
- Arthrobacter sp.*
- Arthrobacter psychrophenicus*
- Arthrobacter sp.*
- Arthrobacter roseus*
- Arthrobacter sulfureus*
- Arthrobacter rhombi*
- Arthrobacter sp.*
- Citricoccus sp.*



Возраст озерного льда из тоннеля Фокс на Аляске (а) — около 25 тыс. лет. Судя по строению льда, содержащего мелкие прожилки (б) и воздушные включения (в), эти ледяные жилы после образования постоянно находились в замороженном состоянии

Слева — график температурной чувствительности микроорганизмов, выделенных из ледяных жил тоннеля Фокс, которая была определена по их способности к размножению при инкубации в разных температурных условиях. Видно, что некоторые из микроорганизмов могут образовывать колонии при отрицательных температурах (Katayama et al., 2007)

В поисках «вечной» жизни

Якутию недаром называют «колыбелью» вечной мерзлоты: практически вся территория республики Саха расположена в зоне многолетнемерзлых пород, толщина которых местами может достигать 500 м и более.

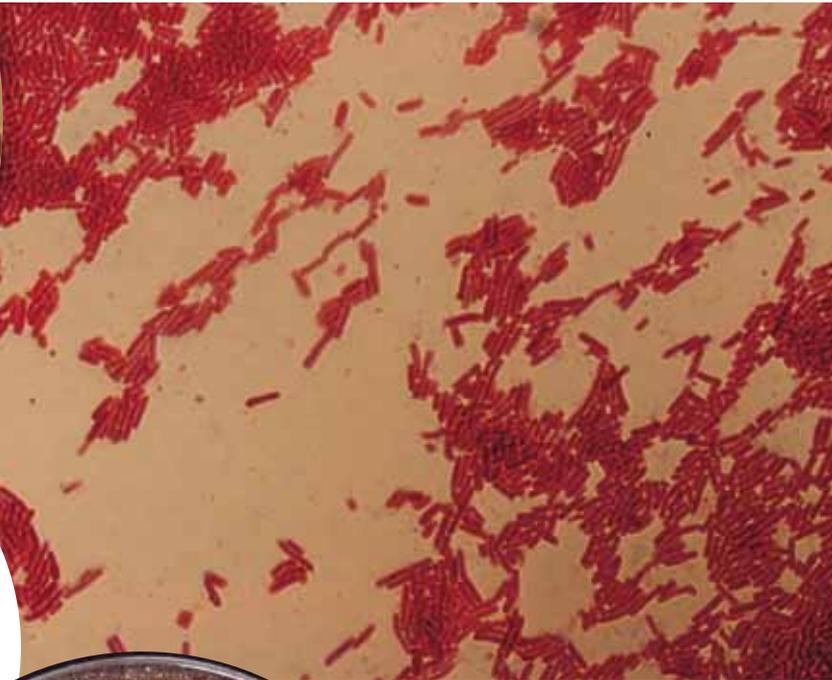
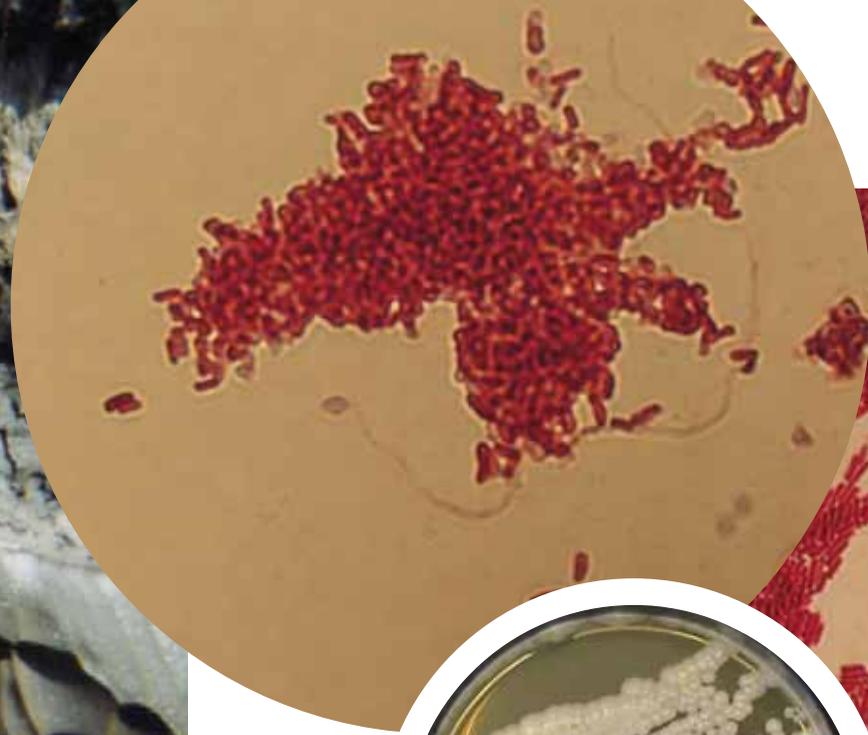
Похолодание в этих местах началось в конце плейстоцена, примерно 3–3,5 млн лет назад. Климат того времени нельзя было назвать жарким:

температура января составляла от -12 до -32 °C, июля — около 12 – 16 °C выше нуля (Бакулина, Спектор, 2000), благодаря чему отложения в плейстоцене, по видимому, не оттаивали.

Из отложений вечной мерзлоты разных районов Якутии мы отобрали образцы для дальнейшего микробиологического исследования. И вот в пробах мерзлых отложений с Мамонтовой горы возрастом предположительно 2 млн лет была обнаружена бацилла (т. е. бактерия в форме палочки), способная к росту в кислородных и бескислородных условиях.

Известно, что споры бацилл обладают удивительно высокой устойчивостью к экстремальным факторам

Но, скажет искушенный читатель, чем вы можете доказать, что микроорганизмы сохранились в вечной мерзлоте с древних времен, а не проникли туда извне, совсем недавно? Ведь, казалось бы, этому должно способствовать само строение мерзлых толщ, в которых находятся пленки воды. Однако подобное проникновение возможно лишь в очень засоленных породах, поскольку обычно водные прослойки в мерзлоте при температурах около -3 °C очень тонкие. Их толщина составляет приблизительно $0,01$ – $0,1$ мкм, то есть, как правило, меньше размеров самих микроорганизмов ($0,3$ – $1,4$ мкм и более).



а



б



Мерзлые отложения якутской Мамонтовой горы представляют собой тонкозернистые пески и алевриты, возраст которых соответствует среднему миоцену (более 10 млн лет) (Баранова и др., 1976). Похолодание здесь было отмечено в конце плиоцена, 3—3,5 млн лет назад, следовательно, с данного момента отложения, по-видимому, находились в замороженном состоянии. Подтверждением тому являются плейстоценовые ледяные жилы, которые могли сохранить свою форму только в том случае, если температурные условия резко не менялись. Таким образом, возраст мерзлоты на Мамонтовой горе, вероятно, может достигать 3,5 млн лет

Из образцов мерзлых отложений с Мамонтовой горы, чей возраст предположительно достигает 2 млн лет, была выделена бацилла, представляющая собой сравнительно большую (1—1,5 на 3—6 мкм) палочку (а), клетки которой при содержании в культуре соединяются в цепочки. Бацилла способна расти при температуре -5°C (б) и образовывать споры круглой формы

среды: так, они были найдены в жизнеспособном состоянии в янтаре с абсолютным возрастом 120 млн лет (Poinar, 1992; Sykes, 1997; Greenblatt et al., 2004). Поэтому обнаружение живой бациллы в древней мерзлоте Мамонтовой горы вполне объяснимо. Однако судить о ее жизнедеятельности трудно: может быть, в мерзлоте бацилла сохранилась только в виде спор. Последнее относится и к другим видам микроорганизмов, выделенных из льдов Центральной Якутии и Аляски.

Большинство найденных микроорганизмов оказались способны к росту при низкой температуре

(-5°C), но не росли при высокой ($+30^{\circ}\text{C}$). В образцах из мерзлых отложений Якутии была обнаружена и идентифицирована ДНК археобактерий нескольких групп, так называемых *метаногенов*, производящих в бескислородных условиях метан. Исследование этих образцов еще не закончено, поэтому не ясно, с чем мы имеем дело: с живыми метаногенами или же с их законсервированными «остатками». Однако во время инкубации этих мерзлых отложений при температуре -5°C наблюдается выделение метана, что может быть результатом жизнедеятельности микроорганизмов. Не исключено, что именно бактерии-метаногены ответственны за большое содержание метана в многолетне-мерзлых отложениях, столь для них характерное.

Таким образом, есть достаточные основания считать, что в мерзлоте — этом естественном «холодильнике» — в большинстве случаев «законсервированы» живые



Обнажение пластовых льдов на Югорском п-ве (Якутия) возрастом около 22 тыс. лет

Вечная мерзлота — арена беспрецедентного естественного отбора, где миллиарды микроскопических живых клеток лишены пищи, пространства для передвижения и размножения. В этих холодных глубинах могли выжить только организмы, обладающие уникальными механизмами поддержания жизнеспособности в течение гигантских периодов времени

микроорганизмы, чей возраст совпадает со временем промерзания отложений (тысячи, а может быть, и миллионы лет). Возникает вопрос: благодаря каким механизмам поддерживается подобное «бессмертие»?

Принято считать, что старение происходит вследствие потери части информации, хранящейся в ДНК. По существу, максимальная продолжительность жизни определяется именно способностью специальных репаративных ферментов организмов «ремонтировать» поврежденные участки ДНК, тем самым предотвращая появление вредных мутаций.

Неустойчивостью отличаются и белки живых клеток. Так, белки мозга крысы распадаются через 32 дня (Битти и др., 1967), период жизни некоторых других белков исчисляется минутами. И хотя максимальный период теплового полураспада некоторых ферментов может достигать 12 тыс. дней (Segal et al., 1969), это все же не тысячи и не миллионы лет!

Существует основанное на экспериментах мнение, что в состоянии анабиоза в организме не происходит никаких химических и биологических реакций (Hinton, 1968). С другой стороны, на клеточные структуры постоянно воздействуют радиация, давление. Сильным разрушающим фактором является также тепловое движение атомов и молекул, поскольку температура обычно далека от абсолютного нуля. Поэтому живой организм

вряд ли может достигнуть при анабиозе, да и вообще в природных условиях, состояния термодинамического равновесия.

Таким образом, до сих пор остается загадкой, благодаря чему некоторые микроорганизмы выживают в тысячелетней мерзлоте. Их уникально долгую жизнь трудно объяснить одним лишь замедлением жизнедеятельности при анабиозе. Должны существовать структурные и биохимические особенности, специальные механизмы восстановления клеточных структур, имеющих склонность к разрушению, которые отличают их от других известных нам организмов.

Понимание принципов действия этих механизмов позволит, по-видимому, радикально изменить взгляд на продолжительность жизни и потенциальные возможности организма, приблизиться к решению ряда фундаментальных проблем, таких как перенос живого вещества в космосе, происхождение земной жизни, а может быть, — и к созданию лекарственных препаратов, увеличивающих продолжительность человеческой жизни.

Холодная «колыбель»

Так изучение древних организмов в мерзлоте непосредственно приводит нас к проблеме появления жизни на Земле. Ныне живущие организмы характеризуются исключительной сложностью на молекулярном уровне, и нужно признать, что до сих пор нет однозначного ответа на вопрос, как они возникли. По образному выражению американского астрофизика Ф. Хойла (которое он употребил в отношении РНК), вероятность синтеза из «первичного бульона» таких сложных биомолекул, как белки и нуклеиновые кислоты, можно сравнить с вероятностью сборки Боинга-747 ураганом, пронесшимся над мусорной свалкой.

Согласно теории панспермии, которая в наши дни становится все более популярной, жизнь могла быть занесена на Землю с других планет. В последнее время благодаря изучению метеоритов и некоторым микробиологическим исследованиям появились данные, хоть

и не бесспорные, которые подтверждают справедливость этой теории.

Действительно, во внешних областях солнечной системы: в спутниках, кометах, на планетах Уран, Нептун и других — содержится в 100 раз больше льда, чем на Земле и присутствуют следы органических молекул. И хотя далекие планеты и кометы проводят большую часть своей «жизни» при температурах ниже -200°C , в прошлом, благодаря радиоактивному распаду, лед мог оттаивать, способствуя появлению условий, пригодных для жизни микроорганизмов. В космическом пространстве, в вакууме и при сверхнизких температурах эти организмы в течение длительного времени могли бы находиться в бездействующем, высушенном и замороженном состоянии, пока не попали бы в благоприятную среду.

Существует, однако, так называемая ультрафиолетовая проблема. Микроорганизмы, путешествующие в космосе, могут быть повреждены ультрафиолетовым и более жестким излучением звезд. Несмотря на то что данные о выживании микроорганизмов при низких температурах, в вакууме, а также при одновременном действии излучения сегодня практически отсутствуют, можно утверждать, что убить микроорганизмы ультрафиолетовым излучением не так просто. Поврежденная при этом генетическая информация может быть затем восстановлена с помощью специальных клеточных механизмов: подобные недавно были обнаружены в бактериальных спорах (Nicholson et al., 2000). Об удивительной стойкости жизни свидетельствуют и результаты недавнего космического эксперимента НАСА, когда значительная часть спор бактерии *Bacillus subtilis*, находившихся под воздействием жесткой солнечной радиации в течение почти 6 (!) лет, сохранила жизнеспособность (Horneck, 1993; Horneck et al., 2001; La Duc et al., 2004). Кроме того, микроорганизмы могут быть защищены от радиации слоем льда или горных пород.

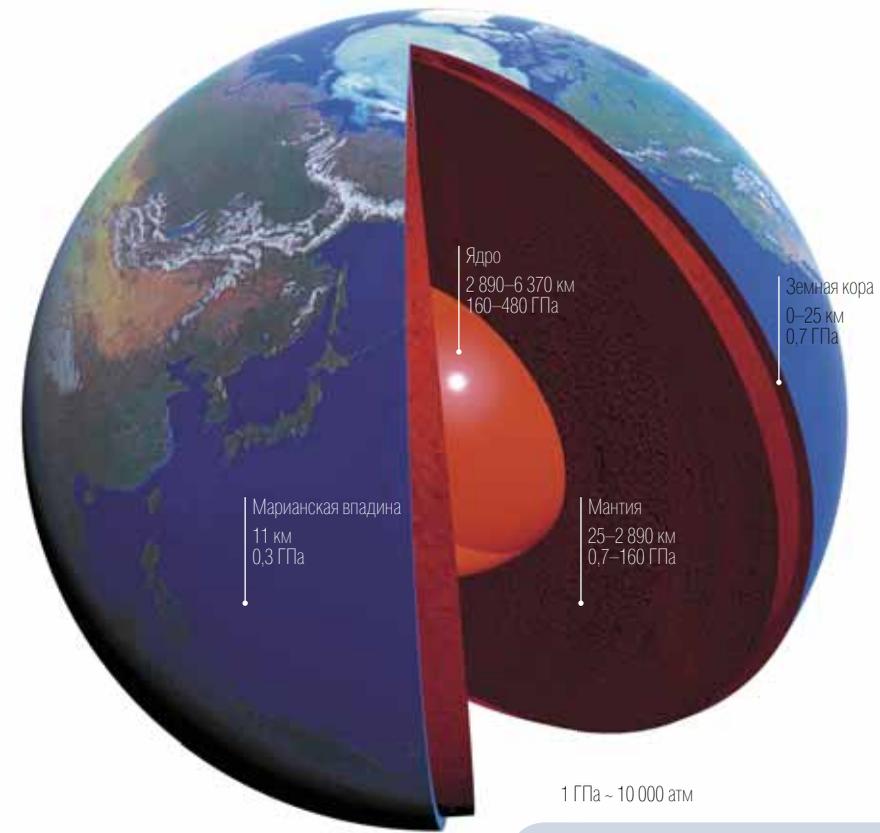
Если все приведенные гипотезы верны, рискнем предположить, что жизнь может иметь более широкое распространение по Вселенной, чем мы привыкли думать. И низкие температуры, ассоциирующиеся в человеческом сознании со смертью, сыграли в этом далеко не последнюю роль.



Меж алмазных наковален

Высокие давления и молекулярные кристаллы

Области практического применения высоких давлений разнообразны: синтез новых материалов, фармация (производство лекарственных препаратов), медицина, пищевая промышленность (дезактивация энзимов, токсинов, вирусов и бактерий)



Высокие давления встречаются в природе в недрах Земли и в глубинах океана



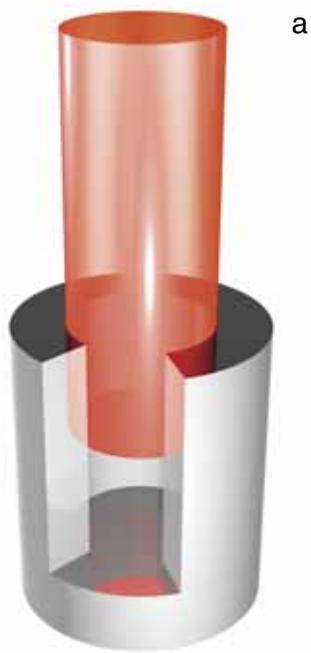
БОЛДЫРЕВА Елена Владимировна — доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Института химии твердого тела и механохимии СО РАН, профессор, заведующая кафедрой химии твердого тела Новосибирского государственного университета. Член ряда международных научных обществ, автор свыше 100 статей, редактор и соредатор двух монографий

Область высоких давлений изначально была сферией физиков и геологов. Физиков привлекала возможность «испытать вещества» в экстремальных условиях, в которых у них могут появиться необычные свойства. Например, при высоком давлении неметаллы превращаются в металлы, кардинально меняются электрические, магнитные и оптические свойства вещества.

Геологов интересовали процессы, протекающие в веществе в условиях, приближенных к тем, что реально происходят в недрах Земли и других планет; геохимические реакции, приводящие к глобальным геологическим явлениям, а также процессы образования минералов. Одной из частных, но очень заманчивых задач стал синтез алмазов в условиях высоких давлений.

Вторая половина 40-х гг. прошлого века была ознаменована появлением принципиально новых устройств для создания высоких давлений в лабораторных условиях — *ячеек с алмазными наковальнями*. Они произвели настоящую революцию в экспериментальной технике. Такие устройства весом всего 10–30 г позволяют создавать давления до миллиона атмосфер, причем работа с ними не требует приложения особых физических усилий. Основной принцип работы таких ячеек прост: высокие давления достигаются за счет того, что площадь приложения силы очень маленькая.

Конкретных реализаций этого принципа множество, но все их можно условно разделить на две группы: ячейки типа «поршень-цилиндр» и типа «наковальня». Бла-



а

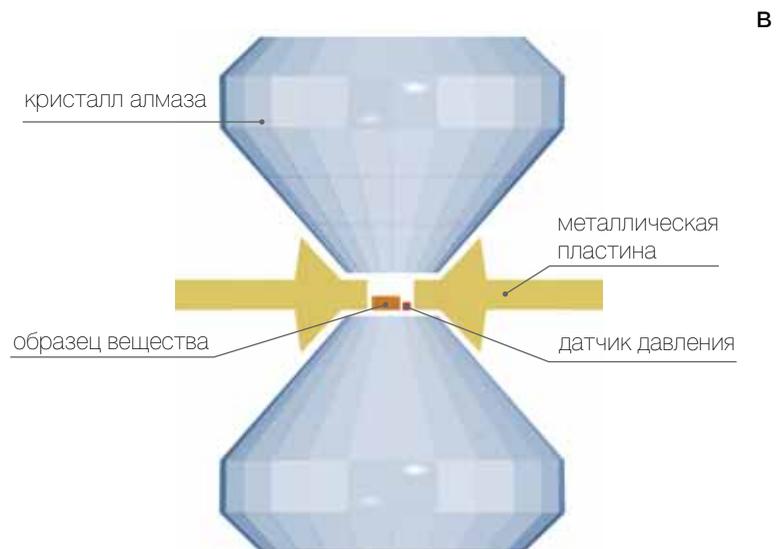


б

Как создать высокие давления в лабораторных условиях? Конечно, уменьшить рабочий объем ячейки, где проводится эксперимент: приложить силу на маленькую площадь. Этот принцип реализован в аппаратах типа «поршень-цилиндр» (а) или в ячейках с алмазными наковальнями (в); б — современная ячейка высокого давления типа «наковальня», размеры которой исчисляются сантиметрами

годаря тому что алмаз прозрачен для инфракрасного излучения, видимого и ультрафиолетового света, рентгеновских лучей и нейтронов, появилась возможность изучать колебательные спектры и кристаллические структуры различных веществ, а также наблюдать за их превращениями непосредственно в условиях высоких давлений. При этом исследуемый образец можно одновременно либо нагревать до 700 °С, либо охлаждать вплоть до температуры жидкого гелия.

Неудивительно, что появление столь широких возможностей резко повысило интерес к исследованиям веществ в этих необычных условиях, которые от эксперимента к эксперименту становились все более экстремальными.



в

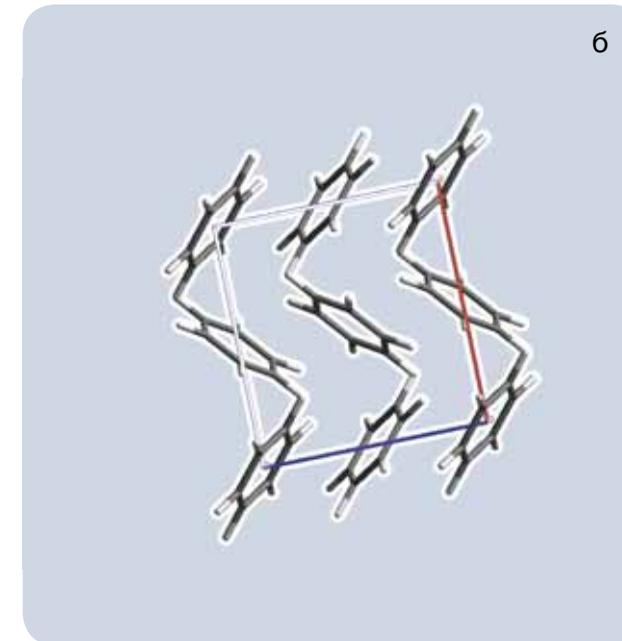
Как многочисленных тонких нитей, опутавших Гулливера, хватило лилипутам, чтобы лишить великана подвижности, так и слабых, но многочисленных межмолекулярных взаимодействий в кристаллах достаточно, чтобы повлиять на их строение и функции

Взяли на вооружение

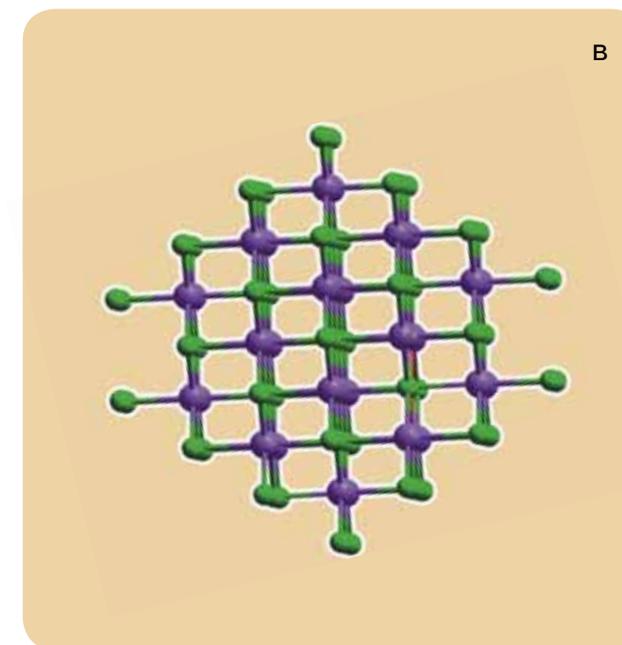
Первые эксперименты по влиянию давления на химические и биологические объекты были проведены еще в начале прошлого века, тогда же, когда стартовали исследования минералов. Например, около века тому назад была обнаружена денатурация куриного белка при повышении давления.

Первые достижения химиков и биологов на фоне захватывающих дух успехов физиков и геологов выглядели достаточно скромно, но это была лишь «проба сил». Химия и биология высоких давлений по-настоящему бурно начали развиваться сравнительно недавно.

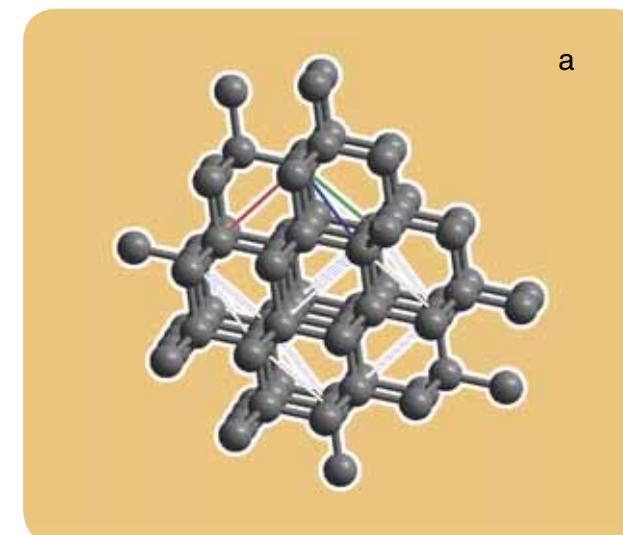
Для химиков высокие давления сделали инструментом, используемым для синтеза новых соединений, а также кристаллизации уже известных соединений в виде новых *полиморфных модификаций* — новых кристаллических структур. Кроме того, с помощью высоких давлений ученые изучают природу химических связей и межмолекулярных взаимодействий, «гибкость» молекул, механизмы химических реакций, в том числе и тех, которые вызываются не увеличением давления, а изменением температуры или облучением светом.



б

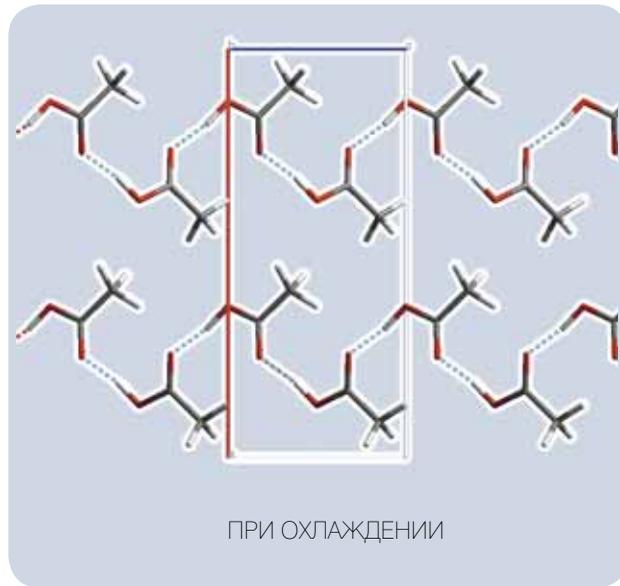


в



а

Алмаз (а) и поваренная соль (в) — ионные кристаллы, в которых все химические связи между атомами равноценны. Бензол (б) представляет собой молекулярный кристалл, связи между отдельными молекулами в котором слабее, чем внутри самих молекул



При охлаждении или при сжатии жидкостей (в данном случае в качестве модели используется уксусная кислота) могут образовываться различные кристаллические структуры

Биологи применяют высокие давления для исследования динамики природных биополимеров — высокомолекулярных соединений, являющихся основой всех живых организмов. Они изучают факторы, отвечающие за вторичную и третичную структуру этих молекул, а также то, как она меняется в ходе биохимических процессов, при генетических заболеваниях и внешних воздействиях.

Эксперименты, проводимые при высоких давлениях, помогают разрешить много проблем. Например, каким образом целому ряду организмов (так называемым *пьезофилам*) удается выжить в глубинах Мирового океана; какие процессы происходят в живой клетке при взаимодействии «рецептор-субстрат»; как работают мышцы и передаются нервные импульсы; за счет чего так прочны природные волокна — нить паутины и шелковая нить — и как создать искусственные волокна, по прочности не уступающие природным. Сегодня высокие давления все шире используются и в пищевой промышленности для дезактивации патогенных микроорганизмов в качестве альтернативы термической обработке продуктов.

И наконец, проблема устойчивости органических соединений к действию высоких давлений напрямую связана с одним из фундаментальных вопросов естествознания: проблемой происхождения жизни на Земле, в том числе с возможностью ее «импорта» извне.

Что такое молекулярные кристаллы?

Кристалл — это «ансамбль» атомов, которому присуща так называемая *трансляционная симметрия*, другими словами — это совокупность атомов, которые, периодически повторяясь в пространстве, образуют трехмерную регулярную структуру. В кристаллах поваренной соли (NaCl) или алмаза (C) все химические связи равноценны: нельзя выделить фрагменты, внутри которых атомы связаны друг с другом сильнее, чем с окружением. В целом подобный кристалл представляет собой, по сути, одну большую «молекулу».

Но гораздо чаще встречаются кристаллы, в которых сосуществуют разные типы связей. К их числу относятся и так называемые *молекулярные кристаллы*, в которых связи между отдельными молекулами слабее, чем внутри молекул. В подобных кристаллах молекулы не утрачивают своей «индивидуальности», хотя строение и поведение некоторых из них могут видоизменяться в зависимости от состава молекулярного «коллектива». Несмотря на относительную слабость межмолекулярных взаимодействий, именно они определяют разнообразие как трехмерных структур, которые можно «построить» из одних и тех же «кирпичиков»-молекул, так и физико-химических свойств получившихся молекулярных кристаллов.

Молекулярные кристаллы применяются в электронике, фармации, а также используются в качестве модельных объектов, которые имитируют строение и функции отдельных фрагментов биополимеров и биохимических систем.

Вещества, которые в нормальных условиях являются жидкостями или газами, способны кристаллизоваться, если взаимодействия между молекулами усилятся. Достичь этого можно, либо понизив температуру (кристаллизация при замораживании), либо повысив давление (кристаллизация при сжатии).

Интересно, что кристаллические структуры, возникающие при замораживании и сжатии одного и того же вещества, часто бывают различны. Яркий пример тому — вода. Лед, образующийся при замораживании, имеет ажурную структуру, поэтому его плотность меньше, чем у жидкой воды. Плотность же льдов высокого давления, множество примеров которых известны, может быть почти в три раза больше,

чем плотность жидкой воды. По мере повышения давления атомы водорода все более «обобщаются»: кристаллическая структура уже не содержит индивидуальных молекул воды, связанных между собой водородными связями, но представляет собой кислородный каркас, внутри которого распределяются «общие» атомы водорода.

Разные структуры в зависимости от способа кристаллизации возникают и во многих других веществах: бензоле, уксусной кислоте, метаноле, этаноле, феноле, серной кислоте, ацетоне и др. Сравнение этих структур позволяет лучше понять роль различных типов межмолекулярных взаимодействий в формировании кристаллов, в том числе кооперативных.

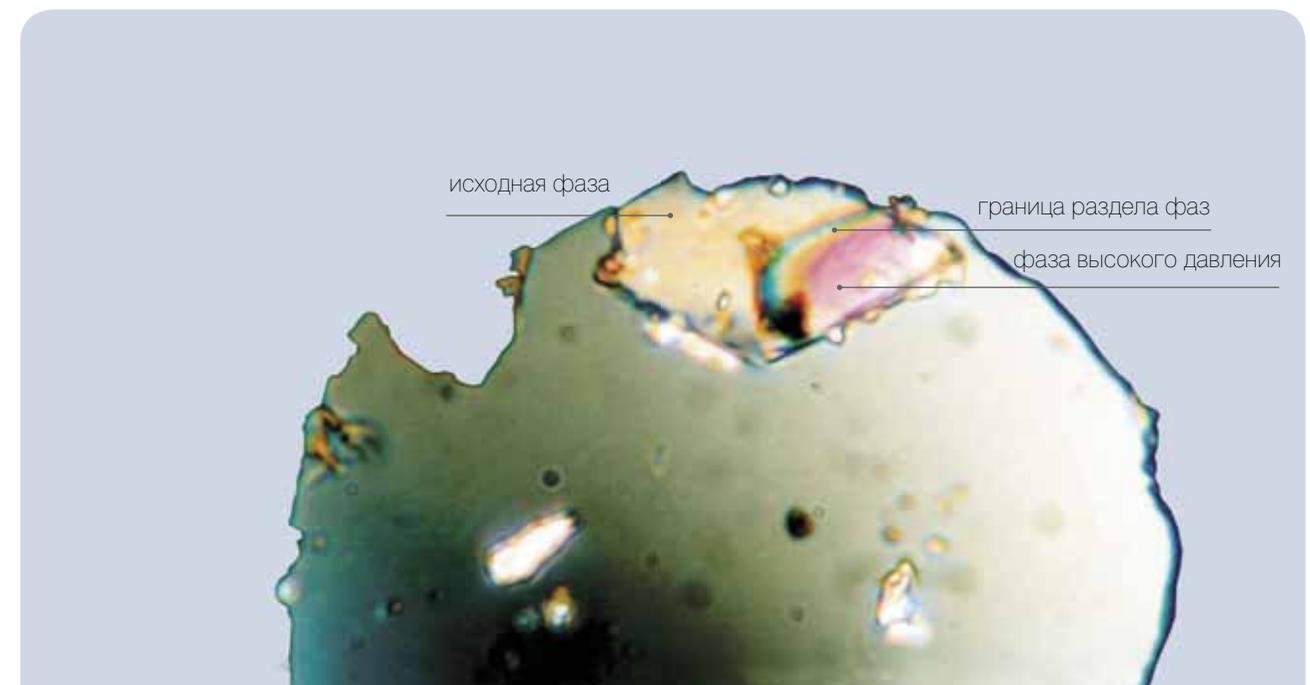
Например, в кристаллах уксусной кислоты молекулы образуют не димеры, как в газовой или жидкой фазах, а бесконечные цепочки. В этом случае получается «проигрыш» по энергии индивидуальных водородных связей, зато «выиг-

рыш» — по энергии всего ансамбля как целого. «Интересы» коллектива подчиняют себе «интересы» индивидуумов.

Высокие давления можно использовать не только для получения кристаллов веществ, жидких в нормальных условиях, но также для перекристаллизации твердых веществ. Если такое вещество растворить в жидкости и затем сжать раствор, то по мере повышения давления растворимость вещества будет уменьшаться и начнется процесс кристаллизации.

Таким способом нередко удается получать новые кристаллические структуры, отличные от тех, которые уже известны при нормальных давлениях. Некоторые из фаз вещества, возникших под воздействием высокого давления, удается сохранить даже после снятия нагрузки (так называемая «закалка»). Это необычное явление сегодня находит применение в различных областях, например при разработке новых лекарственных форм.

Наблюдая в оптический микроскоп за процессом полиморфного превращения вещества — реорганизацией его трехмерной структуры под давлением, — можно заметить момент перехода, при котором в веществе одновременно присутствуют две различных фазы. Фото С. Горяинова (ИГМ СО РАН)



Кристаллы аминокислот

Аминокислоты, малые органические молекулы, являются «кирпичиками», из которых строятся важнейшие биополимеры — полипептиды и белки. Структура этих биополимеров характеризуется определенной последовательностью аминокислот (*первичная структура*), а также особой трехмерной «укладкой» молекул благодаря дополнительным взаимодействиям (например, водородным связям) между отдельными фрагментами полипептидных цепочек (*вторичная структура*).

В то же время аминокислоты способны образовывать особые кристаллические структуры, которые могут служить удобными моделями для исследований на стыке разных наук: физики, химии, биологии, а также в области техники. Многие из подобных кристаллов являются пьезоэлектриками или обладают нелинейными оптическими свойствами; их применяют как лекарственные вещества или биологически активные добавки.

Наконец, кристаллы аминокислот могут использоваться в качестве имитаций отдельных фрагментов биополимеров. Почти во всех этих кристаллах в качестве строительных единиц используются молекулярные цепочки «голова к хвосту». И хотя в данных структурах молекулы связаны не ковалентными, а более слабыми водородными связями, аминокислотные цепочки обладают высокой степенью устойчивости к различным внешним воздействиям и в течение длительного времени не разрушаются даже после растворения кристаллов.

Цепочки из аминокислот можно рассматривать в качестве простейших моделей биополимеров — пептидов, в которых за счет отщепления молекул воды образовались пептидные C—N связи. Ряд исследователей полагает, что склонность аминокислот к образованию подобных структур имеет прямое отношение к проблеме происхождения жизни. Полиаминокислотные цепочки — основа таких природных полимеров, как нить паутины или шелка, а кроме того искусственных полимеров (нейлон).

Исследования, проводимые при высоких давлениях, позволяют количественно измерить жесткость и прочность цепочек, построенных из разных молекул аминокислот, а также образуемых этими цепочками слоев и трехмерных сеток. При повышении давления может происходить и реорганизация трехмерных структур — так называемые *полиморфные превращения*. В некоторых структурах подобные полиморфные превращения возможны, в других — нет. Эта «способность» кристаллических структур напрямую связана с процессом *фолдинга*, т. е. с изменением вторичной структуры биополимеров.

Полиморфные превращения в кристаллах аминокислот имеют аналоги среди процессов, протекающих в природных биополимерах. Например, одно из поли-

морфных превращений в кристаллах аминокислоты *глицина*, вызываемых давлением, сопровождается разворачиванием тройных спиралей кристаллической решетки в слои. Аналогичный процесс описан для *коллагена*, белка соединительной ткани, обеспечивающего ее прочность. Можно также найти сходство между полиморфными переходами в кристаллах аминокислот и процессами образования *амилоидов* — жестких устойчивых структур, связанных с рядом тяжелых заболеваний инфекционной, воспалительной и опухолевой природы.

Исследование полиморфных переходов в кристаллах аминокислот, как и в других молекулярных кристаллах, осложняется тем, что к их описанию плохо применимы традиционные подходы, например построение фазовых диаграмм.

Подобные процессы часто далеки от состояния равновесия. Образование определенных фаз можно наблюдать только в особых режимах, в частности не при повышении давления, а «на обратном пути», при его снижении. На ход полиморфных превращений нередко влияет и скорость подачи нагрузки, и то, как долго вещество находится под высоким давлением. Так, при быстром росте давления может образовываться одна фаза вещества, а при медленном — совершенно другая. На ход превращения могут влиять и присутствующие в системе, даже в малых количествах, жидкости и газы. Отмеченные особенности, безусловно, осложняют работу, но в то же время делают ее более увлекательной.

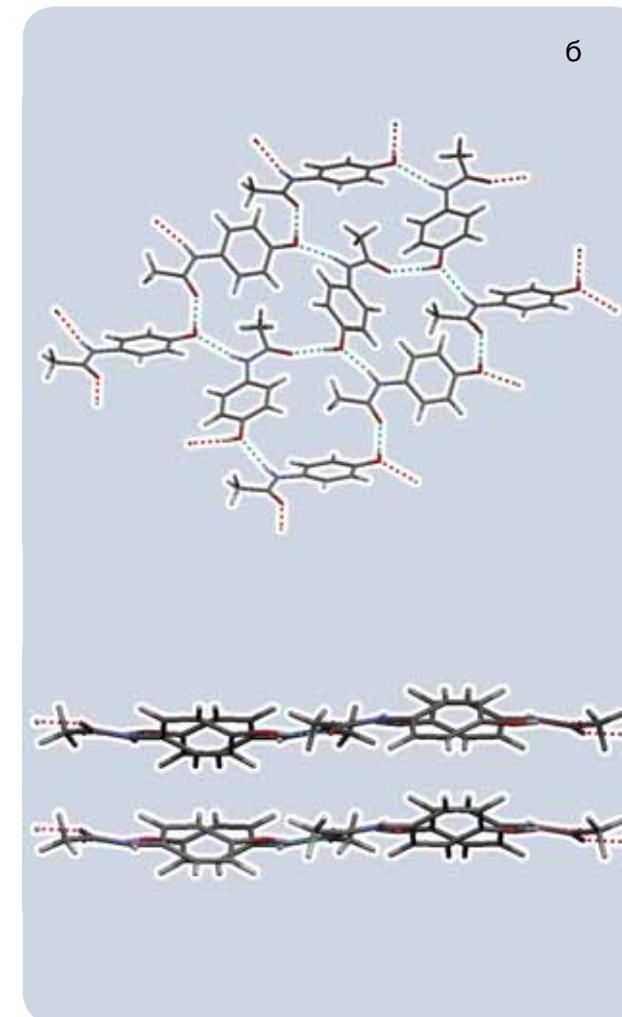
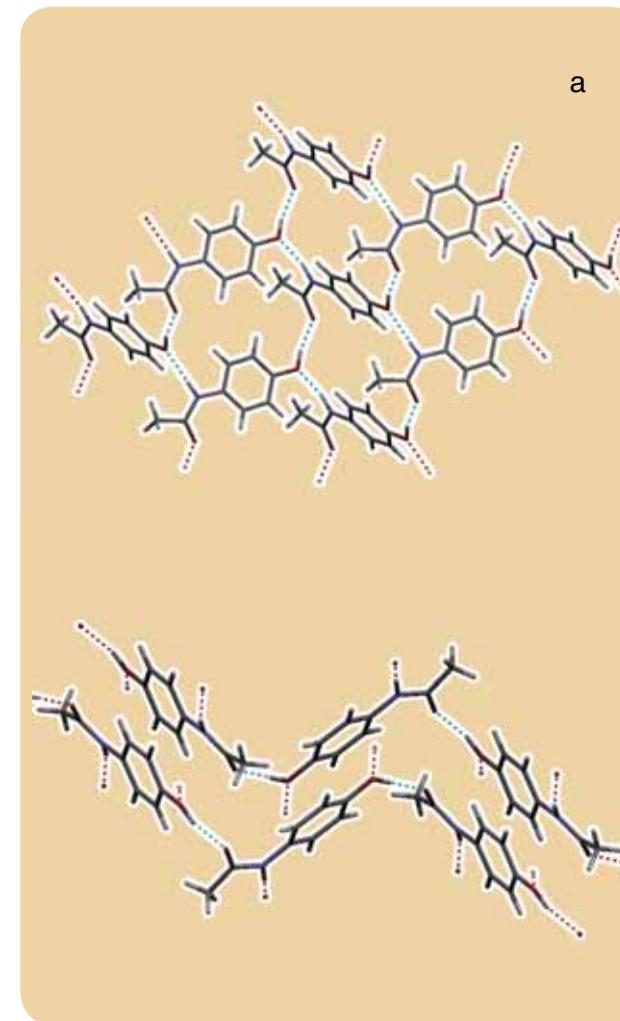
Исследования молекулярных кристаллов при высоких давлениях еще только начинаются. Эта область науки сулит много интересных открытий и практических приложений, но достигнуть успеха можно лишь при тесном сотрудничестве инженеров, физиков, химиков, биологов, специалистов в области синтеза, кристаллизации, спектральных и дифракционных методов исследования.

И в Сибирском отделении Российской академии наук все предпосылки для этого созданы: в рамках Междисциплинарного интеграционного проекта уже сделаны первые шаги в этом новом и очень перспективном направлении.

Литература

1. Болдырева, Е. В. *Высокие давления и изучение супрамолекулярных систем*. — Новосибирск: Изд-во МДЭБТ НГУ, 2002.
2. *High-Pressure Crystallography* / ed. A. Katrusiak & P. F. McMillan. — Dordrecht: Kluwer, 2004.
3. Болдырева, Е. В. *Высокие давления и супрамолекулярные системы* // Изв. РАН. Сер. хим. наук. — 2004. — Т. 53. — № 7. — С. 1315–1324.
4. Boldyreva, E. V. *Crystal of amino acids as a link between chemistry, biology and materials science* // *Magic, Models and Mysteries of Molecules* / ed. J. Boyens. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2007.

При таблетировании лекарственных препаратов происходят процессы, которые могут сказаться на биологическом действии препарата и его способности к хранению



При повышении давления обычный парацетамол-I (а) превращается в парацетамол-II (б) — новую лекарственную форму, которая лучше таблетировается и растворяется

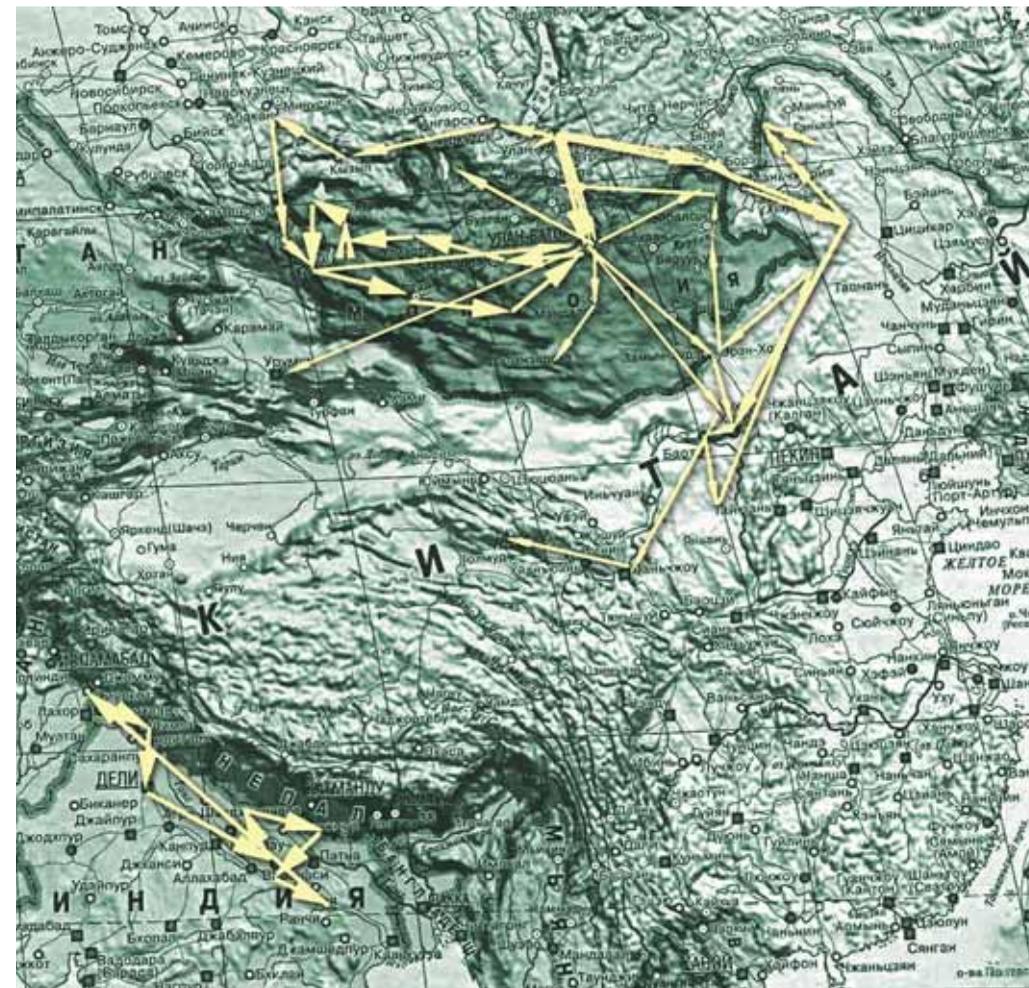
Б. В. БАЗАРОВ

фотографии Ю. Цыбикова и С. Лелехова

Кочевники

В эпоху глобализации

В переводе с монгольского Гоби означает «безводное, пустынное место»



БАЗАРОВ Борис Ванданович — член-корреспондент РАН, директор Института монголоведения, буддологии и тибетологии СО РАН (Улан-Удэ), председатель Бурятского научного центра

В начале третьего тысячелетия еще более углубилась тенденция к ускоренному развитию, столь характерная для Китая и сопредельных государств Центральной и Юго-Восточной Азии. Несмотря на отдельные пессимистические прогнозы, Азия сейчас переживает такой подъем, что приходится констатировать своеобразный «дрейф» мировых экономических центров из Атлантики в Пасифику. В подобных условиях создаются предпосылки для значительного роста национальных идей; и с этой точки зрения социально-экономический и политический процессы, происходящие во Внутренней Азии, особенно в мире монголоязычных народов, представляют несомненный интерес

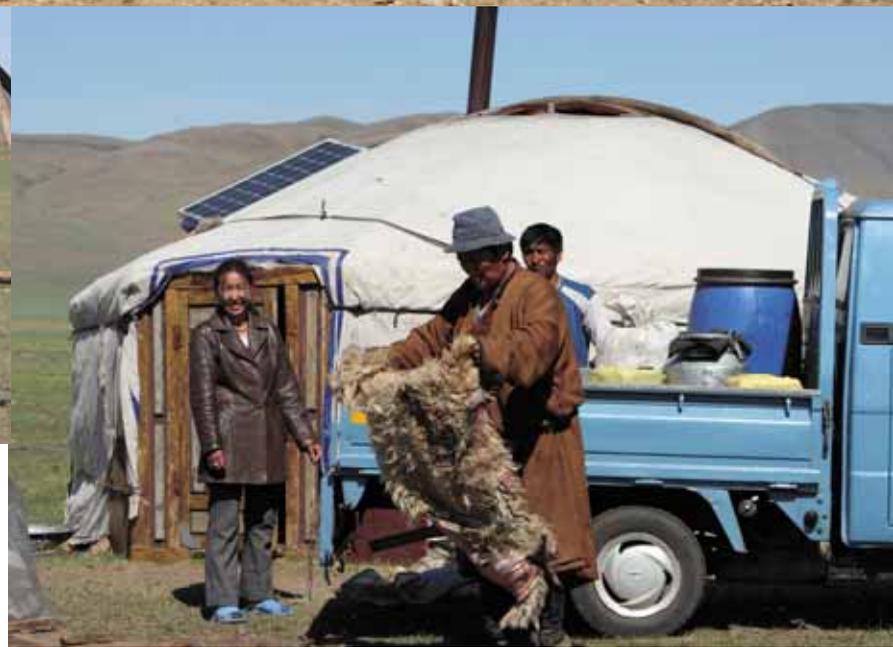
У монгольских народов на протяжении тысячелетий шло формирование историко-культурного пространства, экономической основой которого было кочевое скотоводство. В течение длительного исторического периода создавались многочисленные государственные образования, которые в XVII—XVIII вв. вошли в состав Российской империи и Империи Цин. Внешняя Монголия, получившая в 1911 г. автономию, была преобразована вначале в Монгольскую Народную Республику, а затем в Республику Монголия.

К началу XX в. монгольские народы проживали на территории трех социалистических государств: Китая, Монголии и Советского Союза. В результате изменения политического курса Советский Союз и Монголия перешли к рыночной экономике, а Китай, кардинально не реформируя политическую систему, провел ряд значительных реформ в области экономики.

Для того чтобы изучить современное состояние монгольских кочевников и проследить, как складывается новая схема процессов трансформации кочевых сообществ, научно-исследовательские институты России, Монголии и Китая организовали несколько совместных комплексных научных экспедиций. В ходе этих экспедиций был собран разнообразный материал, имеющий отношение к образу жизни, способам ведения хозяйства, социальной организации, а также к культуре монгольских народов, тибетцев Северной Индии, дагуров и баргутов Китая.

Российско-монгольско-китайская экспедиция «Трансформация кочевых цивилизаций» за восемь месяцев полевого сезона 2000—2006 гг. преодолела свыше 20 тыс. км по автономным районам (Внутренняя Монголия, Синзяно-Уйгурский район, Тибет) и провинциям (Гамсун) Китайской Народной Республики, а также по Индии, Республике Монголия, Республике Бурятия и ее автономным округам

Несмотря на засушливый климат, в степях Монголии пасутся многочисленные стада, дающие прекрасную шерсть и кожу



Улицы Улан-Батора, столицы Республики Монголия, заполнены автомобилями, но в Западной Монголии не отказываются и от испытанного «экологически чистого» вида транспорта — выносливых яков

Жизнь после перестройки

Результаты проведенных исследований показали, что монгольские народы Внутренней Азии испытывают общие для переходных обществ социально-экономические и демографические проблемы, такие как спад общественного производства, необходимость создания новых рычагов подъема экономики и культуры и т. п.

Стержнем социалистического общественного устройства была вертикаль государственной собственности на основе властных отношений. Сегодня же и в России, и в Монголии происходят существенные изменения: важным элементом в структуре общества и его слоев становится отношение к собственности. Отличительными чертами складывающейся системы можно назвать большую поляризацию доходов и жесткую социально-имущественную иерархию.

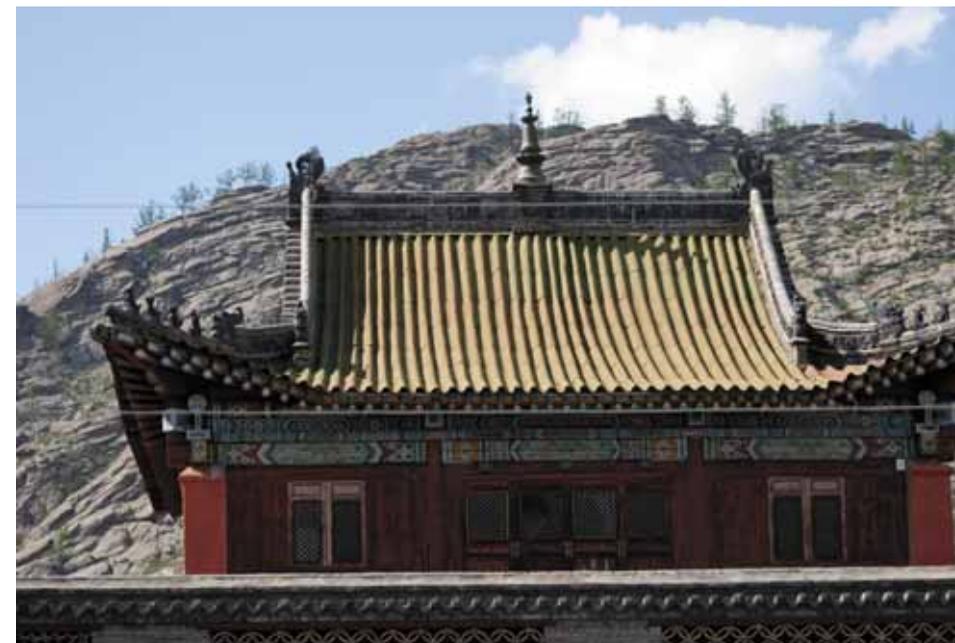
Почти аналогичные процессы происходят в Бурятии, но, по сравнению с Монголией, процесс формирования среднего слоя идет здесь гораздо медленнее.

Кстати, и в России, и в Монголии предпринимаются попытки пересмотра политики форсированной либерализации, которая уже доказала свое несоответствие многим традиционным ценностям народов данного региона.

Трудности, связанные с перестройкой экономической системы, так называемый духовный вакуум, который образовался после краха коммунистической идеи, способствовали возникновению дополнительных социальных проблем. Монголия и Россия столкнулись



Начало реформ в КНР совпало с возрождением религий. Это в первую очередь относится к буддизму и даосизму, которые считаются исконно китайскими и не вызывают подозрения у властей. Ислам, католицизм и протестантизм признаются иностранными религиями; по этой причине они могут быть использованы своими приверженцами в сепаратистских целях. На фото справа — буддийский храм во Внутренней Монголии



Буддийский монастырь Эрдэнэ-Дзу — один из самых древних в Республике Монголия — был построен во второй половине XVI в. на месте Каракорума, столицы Великой Монгольской империи, основанной Чингис-ханом



Религией дагуров, небольшого монгольязычного народа, проживающего на севере Китая, является шаманизм



Достопочтенный Туптен Нгодуп — главный государственный оракул Тибета и личный оракул Его Святейшества Далай-ламы. Оракулами в тибетской духовной традиции называются люди, исполняющие роль посредников между людьми и духами. Четырехсотлетняя традиция предсказательства сохранилась в Тибете до наших дней, хотя в давние времена, в отличие от нынешних, оракулы здесь исчислялись сотнями. Главный государственный оракул является членом кабинета министров тибетского правительства; без его совета не принимается ни одно важное решение

с негативными последствиями того, что в течение многих лет игнорировалась значимость социокультурных факторов. Например, за неготовностью большинства населения переходить к рыночным отношениям, проявлять деловую предприимчивость и инициативу, которые долгое время были наказуемыми, стоит консервативная структура потребностей, разрыв связей между поколениями, а также потеря некоторых важнейших социопсихических традиций.

И первыми шагами к возрождению социокультурной памяти монгольязычных народов в этих регионах стало возвращение к старым традиционным праздникам и обычаям на государственном уровне. А что же происходит с кочевыми сообществами нашего великого южного соседа, который выбрал иной путь политических и социально-экономических преобразований?

Монгольский Китай

Начиная с 1980-х гг. современный Китай, отказавшись от модели тотальной экономики, демонстрирует удивительно высокую скорость экономического роста. Истоки его лежат, во-первых, в особой концепции развития, суть которой состоит в выравнивании темпов развития центра и регионов; во-вторых, в проведении политики открытого общества и, в-третьих, в новом подходе к решению национального вопроса.

Провозгласив принцип «открытой политики», руководители страны поставили во главу угла коренные интересы нации, однако столкнулись со сложной проблемой. Дело в том, что из 180 основных транзитных пунктов внешнеторгового оборота 120 находятся на территории национальных автономий. Не вступая в опасный диалог с национальными меньшинствами, Китай без ненужных деклараций перешел к принципиально иной схеме национальной политики.

Так Внутренняя Монголия получила «второе дыхание». Благодаря осуществлению программ модернизации в этом автономном районе ВВП в 2004 г. достиг 271 млрд юаней: прирост по сравнению с предыдущим годом составил 20%, более чем вдвое превысив обще-китайские показатели и в тринадцать раз — показатели дореформенного 1978 г.

Ведущей отраслью экономики региона является сельское хозяйство. Увеличивается производство зерновых культур, рационально преобразована структура животноводства, чей удельный вес в сельском хозяйстве составляет более 40% от общих показателей. поголовье скота на конец 2004 г. насчитывало 92 млн голов (что в несколько раз превышает показатели по России), причем по сравнению с уровнем предыдущего года прирост составил 16%. Очень высокими темпами развиваются и такие отрасли, как транспорт, торговля, производство продуктов питания, мебели, а также бытовое обслуживание и туризм.

При этом более 25% ВВП производится в частном секторе, который приносит значительную долю налогов. Быстрые темпы развития экономики частного сектора сопровождаются процессом совершенствования его производственной структуры. Если в недалеком прошлом частники занимались преимущественно торговлей и обслуживанием населения, то к настоящему времени спектр их хозяйственной деятельности значительно расширился и стал включать в себя такие сферы, как обработка сельскохозяйственной продукции, транспорт, энергетика, строительство и т. д.

Козы «съели» людей?

Несмотря на успехи, достигнутые в экономике Внутренней Монголии, масса проблем, в том числе и социальных, остается нерешенной. На первом месте стоит проблема повышения доходов животноводов и земледельцев. Кроме того, усиление миграционных процессов привело к увеличению нагрузки на инфраструктуру городов, поэтому возникла потребность в ускоренном развитии обслуживающей отрасли.

Значительный рост поголовья скота способствовал тому, что роль животноводства в экономике стран и обустройстве людей стала одной из важнейших. Однако тот факт, что не учитывался многовековой опыт взаимодействия природы и общества, может иметь пагубные последствия. Ученые засвидетельствовали наличие сложной, а в некоторых случаях угрожающей экологической ситуации, связанной с опустыниванием земель. Ко всем существующим объективным причинам этого тревожного явления следует добавить и увеличе-

Аудиенция у Далай-ламы XIV — духовного лидера буддистов, лауреата Нобелевской премии мира — в Дхарамсале (Индия)





В тибетском монастыре в Дхарамсале (Индия) занимаются и изготовлением традиционной масляной скульптуры

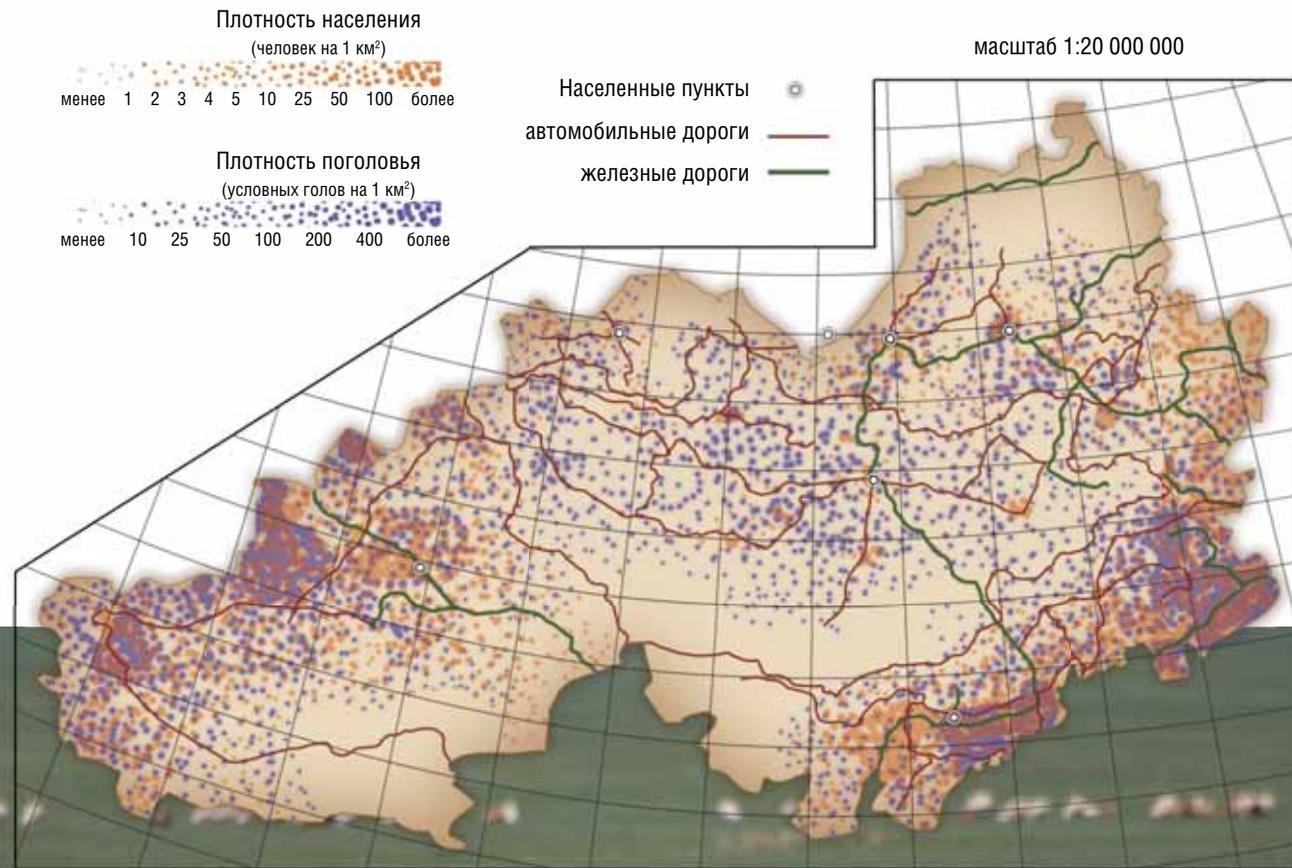
ние цен на кашемир, козий пух, которое привело к значительному росту поголовья коз на гобийских пространствах Внутренней Монголии.

Для сравнения: территория Внутренней Монголии на 500 тыс. км² меньше территории Республики Монголия, но по численному составу населения превосходит ее в десять раз, а по поголовью скота, в основном мелкого рогатого, — в три раза! И сегодня «стадо», состоящее более чем из 90 млн голов, представляет собой немалую угрозу для полупустынных пастбищ. Ведь у коз более мелкие зубы и более острые копыта, чем, например, у овец, к тому же они очень неприхотливы в еде. Стада, которые в начале весеннего периода выпасаются на склонах, буквально оголяют эти склоны до такой степени, что обнажается хрупкая корневая система, в результате чего на степь сходят большие массы песка.



Статуя Будды и его учеников — архатов в современном религиозном комплексе в Бодхгае (Индия) — месте, где, по преданиям, Будда достиг просветления. Комплекс возведен японскими строителями





Территория Внутренней Монголии на 500 тыс. км² меньше территории Республики Монголия, но по численному составу превосходит ее в десять раз, а по поголовью скота, в основном мелкого рогатого, — в три раза! И сегодня «стадо», состоящее более чем из 90 млн голов, представляет собой немалую угрозу для пустынных пастбищ

Поэтому наш первый вывод был сформулирован очень просто: «Козы съели людей». Однако более детальное рассмотрение проблемы выявило еще одну существенную сторону, имеющую отношение к социальному фактору. Речь идет о наделении крестьян землей.

Дело в том, что во Внутренней Монголии данная ситуация характеризовалась рядом особенностей. Земельный надел в пользование арадам первоначально предоставлялся на пять, а позднее — на десять лет. В распоряжении животноводческих семей оказались значительные земельные наделы, но они стали использовать землю, не задумываясь о последствиях. Даже увеличение срока пользования до 20 лет не могло преодолеть существующую инерцию мышления. К тому же, рост численности населения сопровождался ростом конкуренции за пастбища. Эти процессы, которые происходили на обширной территории Северо-Восточной Азии и части Центральной Азии, привели к эрозии почв, ураганным песчаным бурям, а также к вынужденному переселению больших масс людей на другие территории.

Очевидно, появление большого количества Великих пустынь стало результатом безжалостного человеческого вмешательства в естественные природные процессы, за что природа жестоко отомстила. Вот почему сегодня так важно помнить об установлении оптимального баланса между природой и обществом, а также использовать опыт ведения хозяйства в Великой степи, проверенный тысячелетиями.

Что касается Республики Монголия, приведем еще один интересный факт, который доказал справедливость древних законов природопользования при возврате к определенным старым формам nomadic животноводства, а именно: прогрессирующую миграцию сельского населения в города. Дело в том, что число людей и скота, которых могут «содержать» степные ландшафты, лимитировано, поскольку существует определенный уровень антропогенной нагрузки на почву. Поэтому и количество поголовья скота в Монголии всегда остается неизменным: 30 млн голов.

А «излишки» населения стекаются в немногочисленные города республики, благодаря чему около этих городов начинают формироваться огромные юрточные поселения.

Следствием подобных процессов стало увеличение маргинальных слоев городского населения, а также рост эмиграции. К настоящему времени страну покинуло около 130 тыс. человек — и это очень большая цифра по сравнению с общей численностью населения (2,8 млн человек). Кстати, наибольшую активность в этих процессах проявляет молодежь: вот почему в городах происходит увеличение «горючего» социального слоя. Невольно вспоминаются исторические обстоятельства, которые в средние века привели к возникновению знаменитых воинственных кочевых империй, оставивших глубокий след в истории многих восточных и западных цивилизаций*.

Таким образом, при возвращении к традициям ведения кочевого хозяйства необходимо иметь в виду следующее: установление баланса между природой и обществом приводит к естественному регулированию не только поголовья животных, но и человеческой популяции. Следствием этого является отток трудоспособного населения в города, а также за пределы Великой степи. И когда возможности экстенсивных методов хозяйствования будут исчерпаны, быстрое развитие частного сектора может привести к значительному усилению этих процессов. Вместе с тем, существует вероятность наступления момента, когда форма частной собственности, ставшей собственностью на землю, не будет соответствовать фундаментальной основе кочевничества как способа производства.

Необходимо обратить особое внимание еще на одно важное обстоятельство. В процессе глобализации, начатом развитыми странами, к сожалению, не учитывается все многообразие человеческого сообщества, особенно восточно-азиатских пространств. Стремление добиться прибыли или сверхприбыли преобладает над соблюдением человеческих прав, традиций и ценностей, сформировавшихся в течение тысячелетий. И это значительно опаснее, чем разрушение почвы.

Ценность любой нации, этноса и человека как такового опирается на силу «исторического древа», глубину его корней, красоту его культурной кроны. Опыт Восточной Азии показывает, что там, где происходит взаимодействие, а не разрушение этих основ, удается достичь хороших результатов как в национальном, так и в общечеловеческом масштабе.

* Журнал «Наука из первых рук», 2007 г., № 1(13).

А. Х. ЭЛЕРТ

Алкоголь и галлюциногены в жизни аборигенов Сибири

По материалам Второй Камчатской экспедиции



- | | | | |
|------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| 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 | |

Вторая Камчатская, или Великая Северная, экспедиция (1733—1743), проект которой разрабатывался Сенатом и Адмиралтейств-коллегией в Петербургской Академии наук, стала одной из крупномасштабных экспедиций в истории комплексного исследования природы и населения России. К сожалению, многие ценные документы и рукописи экспедиции: письма, путевые журналы, географические описания и т. д., — хранящиеся в фондах и архивах, совсем недавно увидели свет или только еще готовятся к изданию. Журнал «НАУКА из первых рук» неоднократно публиковал на своих страницах статьи, посвященные этому академическому проекту, в том числе жизни и научной деятельности участников экспедиции: Г. Ф. Миллера, И. Г. Гмелина, Г. В. Стеллера. Не остались без внимания и научные материалы Второй Камчатской экспедиции, касающиеся роли алкоголя в жизни русских сибиряков XVIII века. В данной статье говорится о распространении алкогольных напитков среди коренных жителей Сибири, а также об употреблении аборигенами грибов-галлюциногенов и наркотических средств, оказывающих возбуждающее и одурманивающее воздействие на их психику.



ЭЛЕРТ 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.



Якутская колдунья
Рисунок из книги: Народы России: Живописный альбом.— СПб., 1880

Как складывались взаимоотношения между русскими и аборигенами в процессе присоединения Сибири к России? На сей счет высказываются самые полярные мнения: одни признают значимость мирной цивилизаторской миссии русских; другие утверждают, что их методы были колонизаторскими, что значительная часть местного населения и самобытная культура были уничтожены, а сами колонизаторы ничего существенного не дали коренным народам, кроме алкоголя. В последние десятилетия большинство ученых согласилось с тем, что процесс вхождения Сибири

Нижнее течение реки Палана, недалеко от места ее впадения в Охотское море



Якутские чороны — деревянные трехногие сосуды с резным орнаментом для кумысопития

адъюнкта Г. В. Стеллера, студента С. П. Крашенинникова и переводчика Я. И. Линденау.

Кумыс и арака

Известно, что скотоводы, в основном многочисленные тюрко- и монголо-язычные народы, а также забайкальские тунгусы, познакомились с алкоголем задолго до присоединения Сибири к России. Речь идет, прежде всего, о слабоалкогольном (1–3% спирта) кисло-молочном напитке кумысе, употребление которого в больших дозах, по наблюдениям путешественников, вызывало заметное опьянение. Один Линденау считал, что кумыс оказывает лишь расслабляющее, но не опьяняющее воздействие: «Если выпить его слишком много, то становишься больным и сонным, но не пьяным, как это утверждают некоторые».

В «Описании сибирских народов» Миллер подробно рассказал о процессе приготовления кумыса из кобыльего молока. По его данным, кумыс «иногда делают и из коровьего молока, но он не так крепок и не имеет у этих народов такого приятного вкуса, как тот, который делается из кобыльего». В основном этим занимались бедняки, поскольку кобыльего молока у них могло просто не быть. Проанализировав данные о производстве кумыса монголами, содержащиеся в записках путешественника XIII в. В. Рубрика, и сопоставив их с собственными наблюдениями над народами Южной Сибири, ученый пришел к выводу о том, что данная технология за пять столетий практически не претерпела изменений.

Как правило, те, кто изготавливал кумыс, производили из него и крепкий алкогольный напиток — мо-

лочную водку. Лишь в отношении якутов существуют противоречивые мнения. Гмелин называет их в ряду народов, которые производят водку из кумыса, Миллер же категорически утверждает, что якуты «не выгоняют водки». Технологию изготовления этого напитка исследователь описывает следующим образом: «Языческие татары, калмыки, монголы, нерчинские тунгусы и брацкие и по ту, и по эту сторону Байкала употребляют кумыс не только лишь для питья, но и выгоняют из него водку, которую они называют *Araki*. Для этого они используют свой плоский котел из чугуна, накрывают его деревянным верхом, в котором имеется трубка, из которой водка стекает в подставленный под нее деревянный сосуд».

Оценивая качество молочной водки, Миллер пишет: «Водка очень слабая, слабее обыкновенной, или ординарной, хлебной водки, и, кроме того, имеет неприятный для нас запах. <...> Однако крепость молочной водки бывает различной в зависимости от времени года. Лучше всего она из первого весеннего молока, а самая плохая — зимой. Можно еще сказать, что если бы кумыс перегонялся на европейский лад с холодильным бочонком и через плотно закрытые трубки, а также

в приемник с узким горлом, чтобы испарение не было таким сильным, то она была бы гораздо крепче. Я неоднократно пытался объяснить этим народам наш способ, но они не проявляют к этому интереса и говорят, что их предки делали так, и поэтому они не желают вводить какие-либо новшества».

К вопросу о качестве молочной водки Миллер обращался неоднократно, каждый раз приходя к одному и тому же выводу: водка из кобыльего кумыса хуже, чем хлебная, но лучше, чем из кумыса коровьего. Он отмечает, что сибирские татары «изготавливают водку также и из коровьего молока, после того, как с него снято масло, но она хуже и от нее болит голова». Об этом же, собственно, писал и Гмелин, однако в оценке крепости водки из коровьего молока исследователи расходятся. По свидетельству опрошенных Гмелином нерчинских тунгусов, она напоминает водку из молока кобыльего: «Мы действительно увидели, что водка, выгнанная в нашем присутствии из коровьего молока, была такой крепкой, что ее можно было поджечь». Впрочем, в другом случае исследователь утверждает, что «кумыс из кобыльего молока дает больше алкоголя, чем приготовленный из коровьего».



Из молока домашних животных якуты изготавливали самые разнообразные продукты, в том числе и кумыс.
Рисунок из книги:
А. В. Савин. *Пища якутов до развития земледелия (опыт историко-этнографической монографии)*. — Якутск, 2005

в состав России, а также взаимоотношения между русскими и аборигенами носили неоднозначный и противоречивый характер. Это касается и распространения алкогольных напитков в среде коренного населения. Помощь в выяснении реального положения могут оказать документальные источники; однако следует также признать несомненную ценность

научных трудов, экспедиционных материалов, личных свидетельств и оценок тех исследователей прошлых веков, которые в разное время путешествовали по Сибири. В рамках настоящей статьи мы обратимся к материалам участников академического отряда Второй Камчатской (Великой Северной) экспедиции 1733–1743 гг. — академиков Г. Ф. Миллера и И. Г. Гмелина,



Тундра в окрестностях дер. Лесная (Тигильский район. Корякский АО)

В Сибири кумыс издавна изготавливали как из кобыльего, так и из коровьего молока. На фото — бурятская корова и сибирская лошадь кузнецкой породы



В июле—августе 2006 г. состоялась очередная экспедиция на Камчатку, организованная Институтом филологии СО РАН. Два года назад группой сотрудников института был исследован Олюторский район Корякии, на этот раз работы велись на Западном побережье: в Тигильском районе Корякского АО и Быстринском районе Камчатской области. За время поездки удалось собрать самый разнообразный материал по фольклору и традиционной культуре коряков: сказки, личные песни, мифы; сделать множество ценных фото- и видеоклипов, которые дают представление о традиционных способах ведения хозяйства, а также о жилище и одежде этого народа

Брагу из зерна, по наблюдениям ученых, изготавливали лишь некоторые народы Западной Сибири, преимущественно те, которые тесно общались с русскими. Делали ее из перебродившего проса, а также из ячменной или ржаной муки с добавлением хмеля. Объемы этого производства не были значительными.



Деревянные ритуальные кубки для кумыса (чороны) — неперенный атрибут праздника Ысыах. На празднике Ысыах чороны, наполненные первым кумысом, символизировали центр мироздания — источник божественной созидательной энергии





Бубен не только обычный музыкальный инструмент, но и незаменимый атрибут шамана. Обычный бубен есть во многих корякских семьях; под его аккомпанемент исполняются личные песни, танцы. Прикасаться же к оживленному шаманскому бубну разрешено лишь самому шаману или его помощникам: ведь инструмент этот — фатальный...

Традиционные алкогольные напитки, особенно кумыс, практически у всех сибирских народов играли важную роль в языческой ритуальной практике. Не только кумысу, но и посуде, в которой его готовили, а также чашкам, из которых его пили, придавалось сакральное значение. Да и наиболее важные праздники обычно прово-

дились в то время, когда начиналось массовое производство кумыса: весной и в начале лета. Рассказывая о самом важном в жизни якутов празднике Ысыах, во время которого происходило принесение кумыса в жертву наиболее почитаемым божествам и духам, Миллер пишет: «Первое молоко якуты собирают, пока не ожеребятся все кобылы, заквашивают и делают кумыс для Ысыаха. <...> Весь заготовленный кумыс выпивается во время Ысыаха». И только некоторое время спустя, по свидетельству исследователя, разрешалось употреблять кумыс как обычный напиток.

Подобные сведения Миллер сообщает и о тюрках Красноярского уезда: «*Tun*, или *Ürüss*, — так называют татары жертву из первого кумыса, которую они весной приносят божествам и духам. Когда весной они привязывают жеребят и начинают доить кобылиц, то первые три дня собирают молоко в *Kögör* и заквашивают его на кумыс. На 4-й день рано утром, еще до восхода солнца, мужчины семьи <...> отправляются с маленьким сосудом, наполненным кумысом, чашкой и ложкой в сторону от юрты в чистое поле, хотя и не очень далеко. Здесь они ждут, пока солнце не покажется над горизонтом. Как только они его увидят, кумыс наливают в чашку, глава семьи берет ложку и брызгает из чашки вначале в сторону восхода солнца, затем по кругу по ходу движения солнца во все стороны. Если это старый и опытный человек, то он называет при этом по именам божества и всех духов земли — различных рек, речек, озер, гор, скал. <...> Если поблизости имеется шаман, то и его могут взять с собой, чтобы осуществить жертвоприношение. <...> После того, как это произойдет, они возвращаются к своим юртам и угощаются в этот день новым кумысом. Женщины, однако, в этот день еще не должны пить его, а получают это удовольствие лишь на следующий день.

<...> А на третий день из кумыса начинают выгонять вино».

То же самое Миллер наблюдал в обрядовой практике бурятов, которые приносили в жертву не только кумыс, но и молочную водку: «Жертвование скота, которое брацкие делают чертям и умершим, они называют *Kirik*. Весной, подобно якутам, они жертвуют также божествам и чертям вино и кумыс. Такую церемонию они называют *Sazogò*. <...> Перед питьем они всегда брызгают немного вина и кумыса в огонь. <...> Во время [обряд] *Kirik* они также жертвуют чертям и умершим вино, кумыс и *Tarak**, брызгая вверх». Известно, что у тюркских народов Сибири существовал культ коня. Когда коней (как правило, жеребцов) посвящали божествам, их непременно обрызгивали кумысом.

Изредка (в основном на территории Западной Сибири) во время языческого жертвоприношения вместо кумыса и молочной водки использовались брага или хлебная водка. В сентябре 1734 г. церемонию жертвоприношения у тюлиберских татар Кузнецкого уезда наблюдал Крашенинников: «У сих березок оные татары по всякой год жертву приносят богу, наваривши браги великую кадь, и, к тем березкам вынесши, на них льют и сами пьют, и таким образом бога молят».

«...мужики и бабы, и малые ребята всегда пьяны»

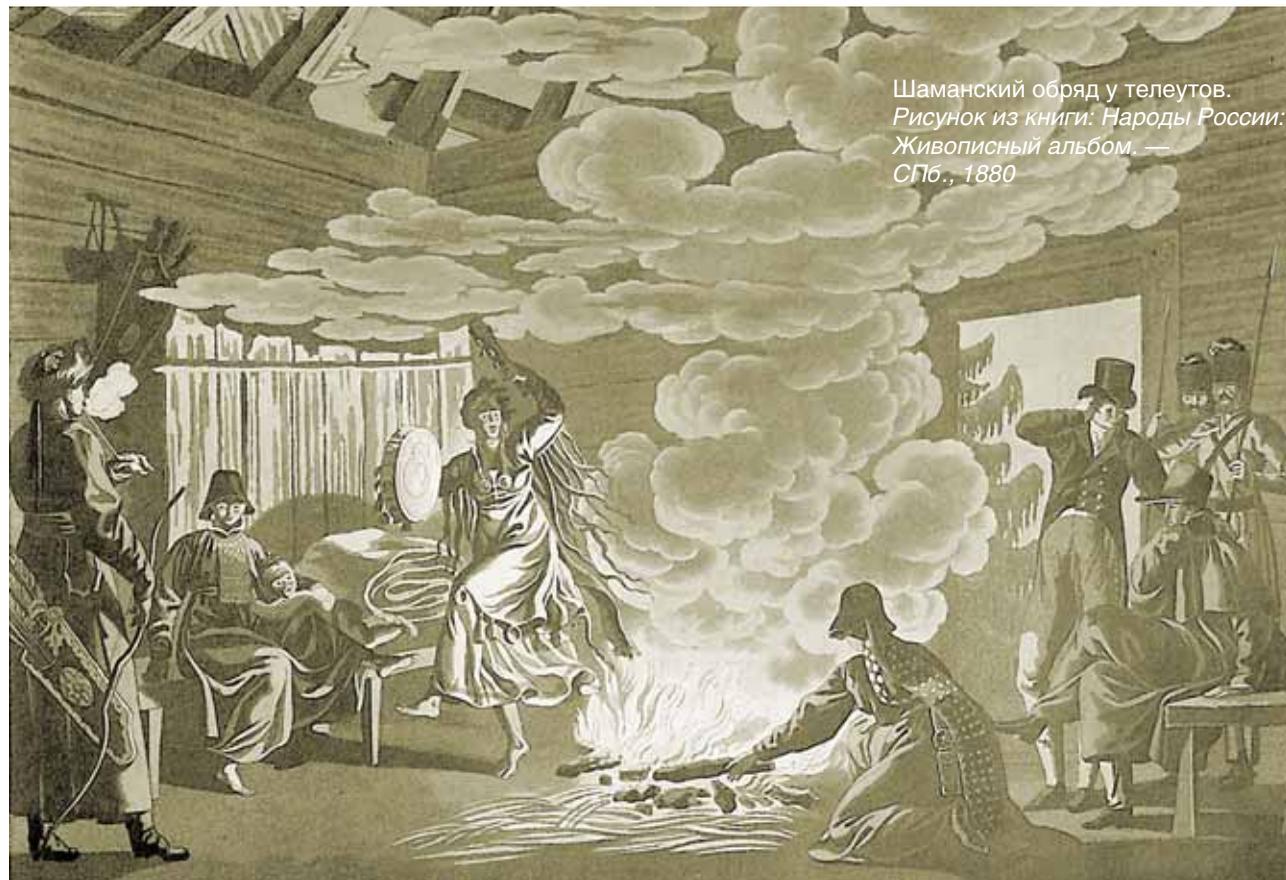
Бытовое пьянство среди аборигенов в XVIII в. было весьма редким явлением, да и распространялось оно лишь на немногих коренных жителей, которые утратили связь с сородичами и жили в городах и острогах, нанимаясь на работу к русским. По мнению исследователей, исключение составляли богатые скотоводы юга Восточной



Сибири, в первую очередь буряты. Однако и у них злоупотребление алкогольными напитками носило сезонный характер и приходилось на лето: дело в том, что именно тогда изготовлялось большое количество кумыса и молочной водки. Согласно Миллеру, даже название второго летнего месяца у бурятов (*Chani-chara*) напрямую связано с этим фактом:

Шаман и шаманка.
Рисунок второй половины XIX в. из книги: *Народы России: Живописный альбом*. — СПб., 1880

* *Tarak* — кислое молоко, приготовленное из кипяченого коровьего молока



Шаманский обряд у телеутов.
Рисунок из книги: *Народы России: Живописный альбом*. — СПб., 1880

«Слово *Chanì* означает дикий, поскольку в это время они [буряты] постоянно напиваются пьяными». Миллеру вторит Крашенинников, который, характеризуя «братских татар» (бурят), сообщает следующее: «В летнее время так, как и прочие татары, мужики и бабы, и малые ребята всегда пьяны, потому что <...> из кобыльа молока они вино сидят».

Русскую хлебную водку, или «вино», коренные жители употребляли лишь в пору редких посещений городов и острогов, а также сбора ясака. Представители русских властей угощали их водкой, что служило своеобразной формой награды за верность и исправную уплату ясака. В основном подобной награды удостаивались родовые начальники (князцы), однако в некоторых уездах угощали всех ясачных. Крашенинников наблюдал этот процесс у тюрков Красноярского уезда — качинцев: «Ясак платят иные по соболу, иные по 2, и по 3, и по 6, а выше сего не бывает. <...> дается им вино по числу соболей, кто один соболь платит, тому и чарка одна, и так до 6».

Водка в больших объемах была и своеобразной формой жалованья, которое получали представители самых знатных аборигенных кланов. Так, по сведениям Миллера, титулованные внуки и правнуки знаменитого

князя Гантимура, перешедшего с подвластными ему тунгусами на русскую территорию из Китая, получали в составе жалованья от 5 до 20 ведер водки в год. Правда, с 1734 г., по представлению Нерчинского воеводы, который обвинил князей Гантимуровых в том, что они «не выполняют никакой службы, а все время проводят в кутежах», подобные выплаты были приостановлены. Как сообщает Миллер, хорошо знавший князей, один из них действительно был «очень подвержен пьянству». «Только много ли в Нерчинске и в большей части Восточной Сибири таких, о ком нельзя этого сказать? — добавляет ученый не без сарказма. — Если по этой причине лишать жалованья, то немногие избегут этого». Истинной же причиной, вызвавшей недовольство воеводы, по мнению Миллера, стало то, что Гантимуровы перестали давать ему взятки, ссылаясь на указы, запрещающие подобную практику.

Торговля водкой в местах расселения коренных жителей была строжайше запрещена. Не зафиксировано фактов, которые свидетельствовали бы о массовых нарушениях этого закона в XVII—XVIII вв. Не получила широкого распространения и практика обмена водки на меха частными лицами и государством. Однако в сенатском указе, который был вручен В. Берингу,

отправленному во Вторую Камчатскую экспедицию, говорится следующее: «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 необычностью до смерти не опивались». «Надзирать», видимо, нужно было не только за русскими, но и за ительменами, поскольку, согласно тому же указу, в обмен на водку у жителей Камчатки следовало брать меха.

Ко времени пребывания на Камчатке Стеллера (1740—1744 гг.) ительмены уже успели приобщиться к этим своеобразным «плодам цивилизации», с которыми они познакомились лишь четверть века назад: «Многие ительмены очень любят водку, напиваясь ею до бесчувствия во время своего пребывания в русских острогах и в значительной мере от этого разоряясь. Другие же безо всякого удовольствия только для того изрядно напиваются, чтобы походить на казаков; они полагают, что такое опьянение — признак культурности последних. В состоянии же опьянения они очень стараются не упустить без подражания ничего из того, что они когда-либо замечали у пьяных казаков; при этом они навешают усах, даже лиц, которых обязаны уважать, чрезвычайно смешно хвастаясь, заявляя: «Я пьян, не сердись... я русскую натуру приобрел... я ведь русский...», — и изрекая разные тому подобные глупости. Из этого видно, чего недостает этим бедным и добрым людям, а именно: просвещения, хороших примеров и рассудительности». Нечто подобное сообщает и Крашенинников.

Однако нельзя утверждать, что пьянство, о котором говорят исследователи, было распространено везде, где существовали тесные контакты коренных жителей с русским населением. Известно, что татары Туринского уезда, которых крестили в массовом порядке



в первой четверти XVIII в., жили, окруженные многочисленными русскими деревнями, на одном из самых оживленных путей из европейской части России в Сибирь, однако порок пьянства практически не поразил их.

Чем закусывать мухомор?

У большинства народов таежной полосы и лесотундры, которые не занимались разведением молочного скота, своеобразным заменителем алкоголя стали мухоморы — грибы-галлюциногены. В древности употребление мухоморов, вероятно, было широко распространено по всему северу Евразийского континента. Об этом, в частности, свидетельствуют изображения этого гриба на петроглифах, которые были обнаружены на Крайнем Севере, в том числе на Чукотке, и датированы 1 тыс. до н.э. — сер. 1 тыс. н.э.

В традиционной культуре обских угров, самодийцев и палеоазиатов мухоморы употреблялись в самых разных сферах. В сакральных песнях мухомор представлен как лакомство духов; шаманы, поедая мухоморы, исполняли магические и обрядовые песни, общались с духами, переносились в иные миры; ворожеи и предсказатели под воздействием этих галлюциногенов впадали в транс, во время которого к ним являлись духи-советчики.

Во время камлания в шамана вселяется дух, которого нужно «угостить», чтобы он остался доволен. Дух может попросить поесть, выпить или закурить, а может и песню захотеть услышать: мало ли что ему «взбредет в голову» — и попробуй не исполнить все его желания! На снимке — шаманка, которая в обычной жизни никогда не курила, а вот человеку, дух которого в нее вселился, вздумалось покурить: потому что курил при жизни еще как! Вот теперь и ублажай его...

Что касается обычных людей, то они в состоянии своеобразного ритуального «грибного опьянения» исполняли психоделические песни, именуемые «мухоморными», «грибными» или «пьяными».

Упоминания об употреблении мухоморов встречаются в исторических преданиях хантов и селькупов. В них говорится, что враги совершали набеги, «пьяные от гриба-мухомора», а мирное соглашение, которым завершилась междоусобица, бывшие противники отметили следующим образом: «мухоморы съели», так как «вина тогда не было» и т. п. Примечательно, что традиция ритуального поедания мухоморов и психоделического пения от аборигенов перешла к некоторым группам русских старожилов Индигирки и Камчатки. В материалах участников Второй Камчатской экспедиции есть данные о том, что мухоморы являлись одним из важ-



ных товаров, продававшихся северным народам, на территории проживания которых мухоморы встречались очень редко или не встречались вообще.

Участники экспедиции обращали внимание преимущественно на бытовой аспект употребления мухоморов: они назвали его «пьянством». Миллер не только собирал сведения о данном явлении, но и включал их в программы и инструкции, предназначенные для других участников экспедиции. В инструкции, написанной для И. Э. Фишера, этой теме посвящено три пункта: «545. О употреблении мухомора, или панги, у остяков при реке Оби и какия бывают от него действия. 546. Употребляют ли мухоморов юкагиры, коряки и камчадалы. 547. Убогие между юкагирами, как Страленберг пишет, не собирают ли у богатых сцак и не бывает ли от того такого же действия, будто бы они сами мухоморов ели».

В экспедиционных материалах самого Миллера содержатся немногочисленные данные по этому вопросу. Как правило, исследователь приводит информацию лишь о том, как называются мухоморы на языке того или иного народа и употребляются ли они этим народом в пищу. Более подробные описания процесса употребления мухоморов коряками, юкагирами и ительменами, в соответствии с инструкциями Миллера, оставили Линденау, Стеллер и Крашенинников. Вот что писал

о коряках Линденау: «Некоторые шаманы, наевшись мухомора *Wapach*, начинают предсказывать будущее. Другие же едят его потому, что они от этого пьянеют. Мухомор у коряков — угощение богачей, бедные же довольствуются мочой последних; когда такой опьяневший от мухомора мочится, то к нему сбегаются многие и, выпив его мочи, пьянеют еще больше, чем сам наевшийся мухоморов. Эти грибы собирают летом и сушат; перед едой гриб свертывают, макают в жир и проглатывают целиком. Но каждый гриб полагается заесть полной ложкой порсы**. Зараз можно съесть 5–7 и даже 9 грибов, но непременно натошак. Наевшемуся мухоморов связывают руки и ноги, чтобы он не бесновался. На следующий день, когда он проспится, его развязывают. Связывают также и тех, кто после него напились мочи. Когда *Gitoepitschan*'ы*** посещают друг друга, то они обычно угощаются сами и угощают своих гостей мухомором».

Ительмены, по свидетельству Стеллера, практически перестали практиковать употребление мухоморов вблизи русских острогов, однако в отдаленных местностях этот гриб оставался «в особом почете»: «Туземцы сушат эти грибы, поедают их, не пережевывая, целыми кус-

** *Порса* — высушенная и мелко истолченная рыба

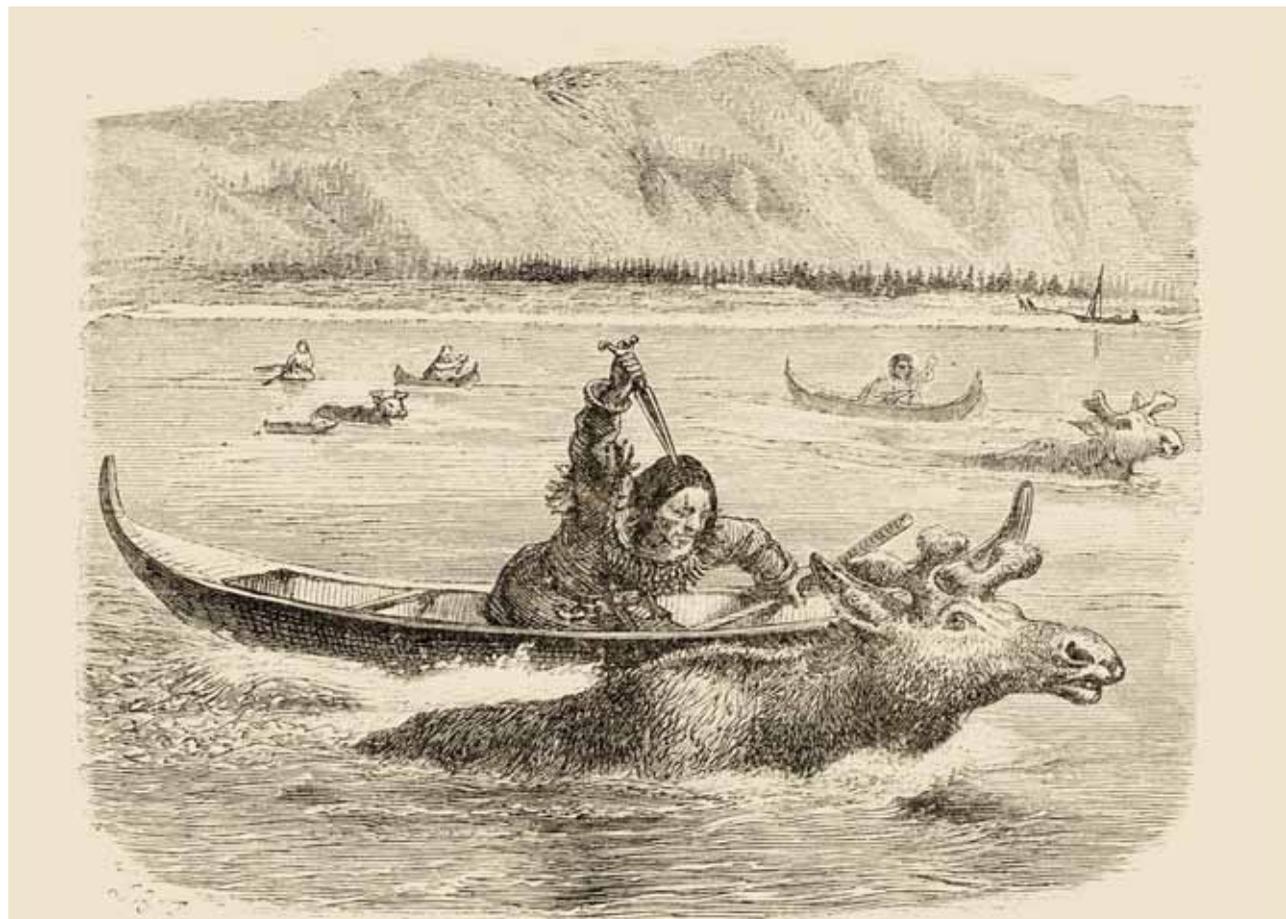
*** *Gitoepitschan* — старшина, глава патриархальной группы

Ритуальное употребление мухоморов до сих пор широко практикуется у коряков (в отличие, например, от эвенов). «Готовят» мухоморы следующим образом: высушивают, нанизав их на веточку; сухие грибы мелко нарезают, но их можно есть и целиком. Запивают обычно теплым чаем. Что ж, приятного аппетита!

Исполнение песен, сказок и преданий нередко сопровождается ритуальным употреблением мухоморов. Некоторые исследователи даже выделяют особый фольклорный жанр «мухоморных» песен

ками и запивают их значительной порцией холодной воды. Уже через полчаса после этого они впадают в дикое опьянение и им мерещатся самые причудливые вещи. Коряки и юкагиры еще более падки на эту пищу и настолько любят ее, что повсюду скупают мухоморы у русских; те же из них, которые по бедности не в состоянии купить их, собирают мочу опьяненных и, выпивая ее, становятся от этого столь же возбужденными и еще более сумасбродными. Моча эта действует, даже пройдя через четверых или пятерых». Поверить в это трудно, отмечает исследователь, однако сказанное им «не подлежит сомнению». Вот что Стеллер пишет о необычайной силе воздействия, которое мухомор оказывает на живое существо: «Северные олени, вообще очень падкие на грибы, между прочим, не раз поедали мухоморы, после чего падали наземь и буйно вели себя, подобно пьяным, в продолжение некоторого времени, а затем впадали в глубокий сон. И вот, если коряки находят дикого северного оленя в подобном состоянии, они связывают его по ногам, пока он не выспится и пока грибной сок не прекратит своего действия; только после этого они оленя закалывают: если бы они умертвили его во время сна и в состоянии опьянения, то





Поколка оленей. Занятие, распространенное у народов Чукотского полуострова.
Рисунок второй половины XIX в. из книги: *Народы России: Живописный альбом.* — СПб., 1880

всех, кто отведал бы его мясо, обуяло бы точно такое же бешенство, как если бы они сами поели мухоморов».

Еще интереснее наблюдения, сделанные Крашенинниковым над ительменами и коряками, у которых было два способа употребления мухоморов «для веселья»: 1) мухоморы замачивали в кипрейном сусле и затем пили его; 2) сухие грибы сворачивали трубкой и глотали целиком. «Первой и обыкновенной знак, по чему усмотреть можно человека, что его мухомор разнимает, — дергание членов, которое по прошествии часа или меньше последует, потом пьяные, как в огневой, бредят; и представляются им различные привидения, страшные или веселые, по разности темпераментов: чего ради иные скачут, иные пляшут, иные плачут и в великом ужасе находятся, иным скважины большими дверьми и лошкка воды морем кажется. Но сие о тех разумеать должно, которые чрез меру его употребляют, а которые немного, те чувствуют в себе чрезвычайную легкость, веселие, отвагу и бодрость, так как сказывают о турках, когда они опия наедаются. <...> Сие примечания достойно,

что все, кои мухомор едали, единогласно утверждают, что какие они сумозбродства тогда ни делают, все делают по приказу мухоморову, которой им повелевает невидимо. Но все их действия столь им вредны, что едали бы за ними не было присмотру, то бы редкой оставался в живые». Мухоморы ели только мужчины. Согласно Крашенинникову, и ительмены, и коряки употребляли в пищу мухоморы не только «для веселья», но и в тех случаях, «когда убить кого намеряются». А вот данные, которые исследователь приводит по поводу употребления коряками мочи тех сородичей, которые съедали мухоморы: «Впрочем, у сидячих коряк мухомор в такой чести, что пьяному не дают мочиться на пол, но подставляют посуду и мочу его выпивают, от чего также бешутся, как и те, кои грибы ели; ибо они мухомор получают у камчадалов, а в их сторонах не родится». Умеренным считалось потребление максимум четырех грибов, а «для пьянства» съедали около десяти мухоморов.

Опыт ительменов переняли и русские служилые люди. До того, как был открыт морской путь на Камчатку, они



Рыба, приготовленная разными способами, всегда была главным блюдом на столе камчатских аборигенов. Зимой исключительно полезна и для людей, и для собак вяленая камбала. Порса — высушенная и мелко истолченная рыба — используется и в качестве закуски: к примеру, у коряков принято закусывать мухоморы полной ложкой порсы

Юкола — так на Камчатке называется вяленая на солнце копченая рыба — является одним из самых распространенных продуктов в рационе питания не только людей, но и собак. На фотографии — юкольник, строение для сушки рыбы; сетка служит для защиты от прожорливых чаек





Вид Камчадальского селения.
Рисунок из книги: *Народы России: Живописный альбом*. — СПб., 1880



Так называемые высокие «ноги» защищают амбары с продовольствием не только от крупных и мелких животных (медведей, собак, грызунов), но и от наводнения, которое случается во время разлива рек

вынуждены были с боями прорываться через земли воинственных коряков на Камчатском перешейке и просто физически не могли ввезти на полуостров ни водку, ни продукты, необходимые для производства алкоголя на месте. По этой причине алкоголь заменили именно мухоморы. Впрочем, и в 1730—1740-х гг., когда проблем с алкоголем у населения Камчатки не стало, многие русские все-таки продолжали есть мухоморы.

На сей счет Крашенинников приводит немало комических, а подчас и трагических примеров «сумозбрдств» служилых, когда употребление мухоморов толкало

их на совершение самых невероятных поступков, в том числе и приводивших к смерти. Вот один из этих примеров: «Денщику подполковника Мерлина, которой был на Камчатке у следствия и розыску, приказал мухомор удавиться с таким представлением, что все ему дивиться будут.<...> Другому из тамошних жителей показался ад и ужасная огненная пропасть, в которую надлежало быть низвержену: чего ради по приказу мухомора принужден он был пасть на колени и исповедывать грехи свои, сколько мог вспомнить. Товарищи его, которых в яшашной избе, где пьяной приносил покаяние, было весьма много, слушали того с великим удовольствием, а ему казалось, что он в тайне пред богом кается о грехах своих. <...> Некоторой служивой едал, сказывают, мухомор умеренно, когда ему в дальней путь итти надлежало, и таким образом переходил он знатное расстояние без всякого устатка, наконец, наевшись его допьяна, раздавил себе яйца и умер. Бывшей у меня в толмачах большерецкой казачей сын, опоенной мухомором в незнании, разрезал было себе брюхо по приказу мухоморову, отчего насилу его избавить успели, ибо уже в самом замахе руку ему задержали».

Интересно, что потребление мухоморов ительменами не приводило к столь опасным для жизни «сумозбрдствам». Крашенинников связывал этот факт с тем, что ительмены либо соблюдали разумную «меру», либо так «въелись» в мухоморы, что «организм привык к ним».

На смену мухоморам к коренным народам Сибири постепенно приходили алкогольные напитки. Вот что пишет Крашенинников об ительменах: «Для веселья пивали они мухомор, в воде настоянной <...> а ныне пьют и вино, как и тамошние жители, и совсем на нем пропиваются». Тем не менее, в ряде мест с традиционным укладом жизни поедание мухоморов, а также особое сакральное отношение к ним сохранились до начала XXI в. Об этом, в частности, свидетельствуют материалы этнографических экспедиций последних лет, которые были организованы на территорию проживания коряков.

Лучше голод претерпеть

Среди удовольствий сомнительного толка, получивших повсеместное распространение у сибирских народов после присоединения к России (а точнее, с начала XVIII в.), ученые особо выделяют пристрастие к курению, которое буквально разоряло многих курильщиков по причине дороговизны табака в отдаленных районах. В работе «География и нынешнее состояние земли Камчатки» Миллер свидетельствует о том, что «камчадалы» (ительмены), которые только недавно узнали, что такое табак, «ныне к тому так привыкли, что им лучше голод претерпевать, нежели от того отстать». «Мужья, жены, дети и челядинцы — все курят табак и каждому надобно в год по последней мере 2, 3 и 4 фунта». Между



Шаман и шаманка
Рисунок из книги: *Народы России: Живописный альбом*. — СПб., 1880

Эвенский поселок Эссо в долине
р. Быстрая

тем проблемы с доставкой табака на Камчатку, а также последствия недальновидной политики государства, объявившего монополию на его продажу, привели к тому, что цена табака в лучшие годы составляла, по данным ученого, 6 лисиц за фунт, а бывало и такое, что он продавался по лисице за золотник. Дабы камчатские народы не пришли во «всеконечное убожество», по мнению Миллера, необходимо было разрешить свободную продажу табака всем желающим; из казны же продавать его по цене, не превышающей более чем в два раза той цены, которую предлагают за него китайцам. Как считал исследователь, на широкое распространение табакокурения среди русских жителей Камчатки большое влияние оказал образ жизни ительменов: «Понеже они на камчатских холопках женаты или от оных родились, все камчатские обычаи приняли и потому столько же или еще больше, как камчадалы, табуку курят».

Курению табака также нередко придавалось ритуальное значение. Вместо мухоморов его использовали и шаманы в качестве возбуждающего или одурманивающего средства. Вот как Миллер описывает процесс камлания у качинских татар Красноярского уезда: «Потом шаманка, несмотря на то, что помимо камланий она не курила, потребовала табуку для курения. Это означало, что требовала не сама шаманка, а черт, которым она была одержима. Тогда ей дали раз за разом 7 трубок с табаком, которые она <...> большей частью растрясла и, как и до этого, каждый раз между двумя трубками выпрыгивала из юрты. С последней трубкой она имела вид совершенно лишившейся чувств <...> Поэтому ее поддерживали, и вскоре она пришла в себя».

В числе «классических» наркотических средств ученые называют лишь опиум. Судя по всему, на территорию Сибири опиум ввозили из Средней Азии купцы; употребляли же его преимущественно западносибирские «бухарцы», а также тобольские, тюменские, тарские и томские татары. Миллер оставил упоминания об этом наркотике в нескольких экспедиционных рукописях. Наиболее пространная заметка на сей предмет содержится в «Известиях о якутах и их шаманах, о юкагирах, остяках, тунгузах, самоедах, камасинцах, тайгинцах, качинцах, татарах и об обычаях разных сих народов»: «*Afim* (опиум) татары и бухарцы охотно пьют с чаем точно так же, как турки. Доза на один раз для мужчины — с большую горошину. От опиума становятся очень веселыми и возбужденными. Если у них имеются трудные для чтения книги, то <...> опиум так проясняет их сознание, что они могут понять и самые трудные места. Однако те, кто употребляет много опиума, какими бы тучными они ни были прежде, от этого становятся очень худыми, высыхают и, наконец, приобретают чахотку». Ни Миллер, ни Гмелин ничего не говорят о наркотической зависимости от опиума, ограничиваясь указаниями на последствия злоупотребления этим зельем.

Итак, на основании экспедиционных материалов участников Второй Камчатской экспедиции, можно сделать следующие выводы: употребление традиционных для аборигенных культур Сибири алкогольных напитков носило сезонный характер, было тесно связано с языческими обрядами и верованиями, но не приводило к массовому появлению зависимых от алкоголя людей. Путешественники не оставили данных, свидетельствующих о серьезном влиянии русских на пристрастие коренных жителей Сибири к алкогольным напиткам, которое они практиковали еще до начала XVIII в.

Ситуация кардинально изменилась лишь в первой половине XIX в., особенно после того, как в 1833 г. был разрешен ввоз «горячих» напитков на территории проживания аборигенов. С этого момента, вплоть до установления в 1902 г. государственной винной монополии, коренные жители получили право самостоятельно продавать сородичам алкогольные напитки. Таким образом, не только частные торговцы, но и само государство фактически стало проводить политику по замене еще только складывающихся товарно-денежных отношений на товарно-водочные. В эти годы процесс спаивания коренного населения Сибири приобрел массовый характер и особенно пагубное воздействие оказал на те народы, в традиционной культуре, а также в ритуальной и обрядовой практике которых употреблялись не алкогольные напитки, а грибы-галлюциногены как возбуждающее и одурманивающее средство.

Литература

СПбФ АРАН. — Фонд 21.

РГАДА. — Фонды 181, 199.

Вторая Камчатская экспедиция. Документы. 1730—1733. — Часть 1. Морские отряды. — М., 2001.

Крашенинников, С. П. *Описание земли Камчатки.* — М.—Л., 1949.

С. П. Крашенинников в Сибири. *Неопубликованные материалы.* — М.—Л., 1966.

Линденау, Я. И. *Описание народов Сибири (первая половина XVIII века). Историко-этнографические материалы о народах Сибири и Северо-Востока.* — Магадан, 1983.

Стеллер, Г. В. *Описание земли Камчатки.* — Петропавловск-Камчатский, 1999.

Georg Wilhelm Steller, Stepan Krašennikov, Johann Eberhard Fischer — *Reisetagebücher 1735 bis 1743.* — Halle, 2000.

Gmelin, I. G. *Reise durch Sibirien.* — Göttingen, 1752. — Th. 1—4.

Johann Georg Gmelin. *Expedition ins unbekannte Sibirien.* — Ulm, 1999.

Автор и редакция журнала выражают благодарность сектору фольклора народов Сибири Института филологии СО РАН, а также сотруднику сектора К. Сагалаеву за фотоматериалы, использованные в публикации



Аномально теплая зима и необычно ранняя весна в Сибири нарушили зимний сон медведей. В этот раз звери покинули свои берлоги раньше времени: в поисках пищи они стали подходить к жилищу человека — и некоторым из них суждено было погибнуть от его руки. Медведей в России пока еще много, и на них разрешено охотиться, в том числе и «на берлоге». Часто после такой охоты к людям попадают медвежата, родившиеся в январе—феврале. Об этом двухмесячном сироте любители природы из Новосибирского академгородка узнали случайно.

Сейчас медвежонок и его брат живут в лесу, на туристской базе; урча от удовольствия, пьют молоко, а если взять их на руки — радостно прижимаются, ища живого тепла и ласки. Что ждет малышей дальше?.. Скорее всего, их удастся устроить в один из зоопарков: выпустить в лес выросшего среди людей медведя нельзя, ведь он не способен жить нормальной жизнью дикого зверя и будет всеми силами стремиться к людям — а это может привести к трагическим последствиям...

В. В. Власов, академик РАН