

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

5

5⁽¹⁷⁾
● 2007



ЛОВУШКА ДЛЯ
ТЕРМОЯДА

БИОЧИПЫ: ДИАГНОЗ —
ДЕЛО ТЕХНИКИ!

КОМБИНАТ
№ 820

ЛЕОНАРДО О
ПРИРОДЕ ВОДЫ

В ПОИСКАХ ЭНЕРГИИ

БОЛЬШОГО ВЗРЫВА

ISSN 1810-3960



НАУКА ИЗ ПЕРВЫХ РУК

№ 5 (17) 2007



Дорогие читатели!

В фокусе очередного выпуска журнала — самые мощные из известных на сегодняшний день энергий: ядерная и термоядерная. Начиная со второй половины двадцатого столетия человечество непрерывно направляет свои усилия на решение проблемы осуществления самоподдерживающейся управляемой реакции термоядерного синтеза. В настоящее время международное научное сообщество приступило к строительству крупнейшей установки типа токамак под названием «ИТЭР». В ближайшие десятилетия ИТЭР должен продемонстрировать возможность создания самоподдерживающейся управляемой термоядерной электростанции на основе реакции синтеза дейтерия и трития.

Плазма является особой формой существования вещества. Высокотемпературные сгустки плазмы во Вселенной распространены очень широко: достаточно назвать Солнце и звезды. А вот на Земле ее совсем мало. Космические частицы и солнечный ветер ионизируют верхний слой атмосферной оболочки Земли, а образовавшаяся плазма удерживается магнитным полем. Иными словами — это своего рода земная магнитная ловушка.

На Земле высокотемпературную плазму можно получить лишь в лабораторных условиях. Это необычное состояние вещества поражает воображение большим количеством степеней свободы и, вместе с тем, способностью к самоорганизации и отклику на внешнее воздействие. К примеру, плазму можно удерживать в магнитном поле, заставляя принимать различные формы. Однако она стремится вырваться на свободу из жесткой «клетки» магнитной ловушки, если конфигурация этой ловушки ее не устраивает. Вот почему задача физиков — создать такие условия, чтобы плазма была устойчивой, «жила» в ловушке долго и спокойно, нагревалась до термоядерных температур порядка 10 миллионов градусов по Цельсию.

На сегодняшний день в Институте ядерной физики в новосибирском Академгородке успешно функционируют две уникальные плазменные ловушки, которые явились итогом применения на практике оригинальных идей и принципов, рожденных в стенах института. За всю историю работы на установках ученым удалось получить важные результаты по нагреву и удержанию плотной горячей плазмы, а также сделать ряд открытий, связанных с фундаментальными свойствами этого четвертого состояния вещества.

Каждый год преподносит что-нибудь новое и необычное то в одних, то в других условиях для жизни в ловушках. И плазма, пусть и неохотно, но открывает исследователям свои самые сокровенные тайны... Некоторыми из этих тайн делятся наши авторы с читателями журнала на страницах нового выпуска.

академик Н. Л. Добрецов,
главный редактор



Подобно живому организму, ПЛОТНАЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМА, полученная в лабораторных условиях, СТРЕМИТСЯ вырваться НА СВОБОДУ ИЗ жесткой «КЛЕТКИ» магнитной ловушки. **С. 6**

С помощью БИОЧИПОВ можно разрешить ЗАГАДКИ ЭВОЛЮЦИИ и даже... вычислить ПРЕСТУПНИКА. **С. 40**

«ВЫСОКОМЕРИЕ ПОКИНУЛО ЕЕ, она стала падать и была выпита сухой землей, где в заточении на долгие времена отбывает она покаяние за свой грех» — из «КНИГИ О ВОДЕ» Леонардо да Винчи, посвященной ПРИРОДЕ ВОДЫ. **С. 50**

.01

НАУЧНАЯ МАСТЕРСКАЯ

- 6 **А. А. Шошин, А. В. Аникеев**
Ловушка для термояда
- 20 **М. А. Грачев**
В поисках энергии большого взрыва
- 28 **В. П. Шопен**
Комбинат № 820

.02

ЧЕЛОВЕК

- 40 **А. Н. Синяков**
Биочипы: диагноз — дело техники!

.03

ФАКУЛЬТЕТ

- 50 **М. А. Могилевский**
Леонардо о природе воды





Растительные АЛКАЛОИДЫ — вещества с дурной репутацией — в умелых руках превращаются в ЛЕКАРСТВО.
С. 62

.04

ПРИРОДНЫЕ ФЕНОМЕНЫ

62 Этюды о растениях.
*Обзор по материалам статей
Г. А. Толстикова, А. Г. Толстикова,
Т. Г. Толстиковой*

Своим образом жизни БОБРЫ СРОДНИ ЛЮДЯМ и даже превосходят их во многих умениях. ЗАПРУЖИВАЮТ РЕКИ и поддерживают их на нужном уровне. УСТРАИВАЮТ под водой СКЛАДЫ ДРЕВЕСНОГО КОРМА...
С. 76

.05

БИБЛИОТЕКА

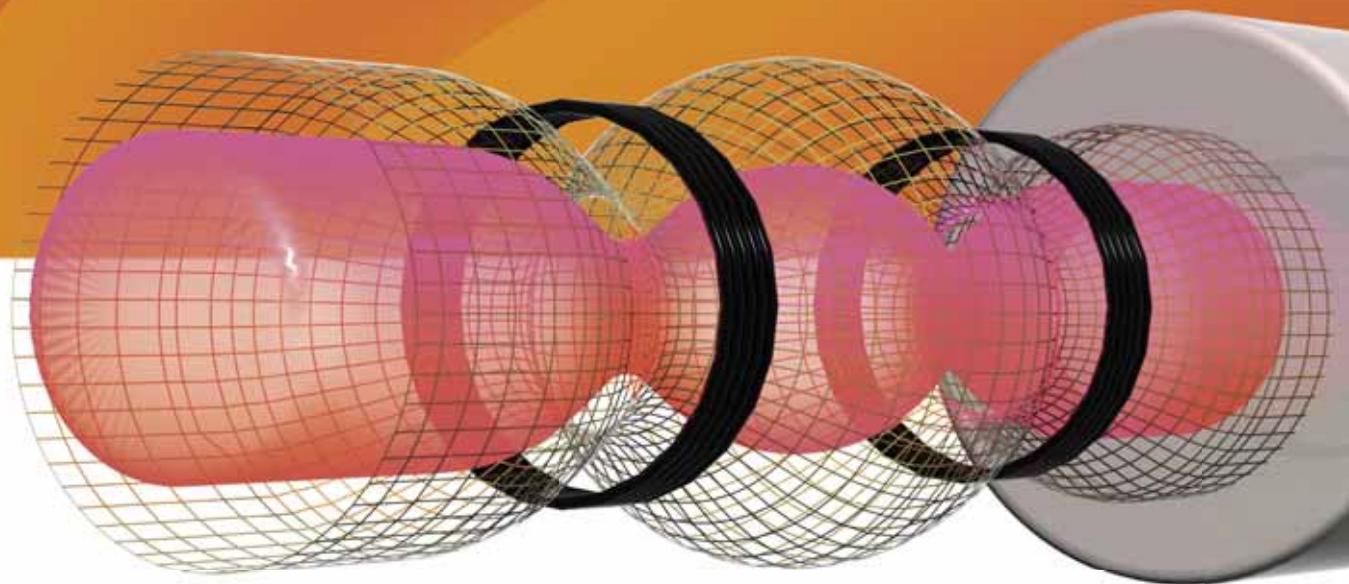
76 *М. Ф. Косарев*
В ПОИСКАХ ВЕЛИКОЙ ВЕНГРИИ.
Пушная пора



ЛОВУШКА

Институт ядерной физики, как и все институты Сибирского отделения РАН, — сравнительно молодой: в 2008 г. ему исполнится всего лишь 50 лет — столько же, сколько составляет средний возраст его сотрудников. Отрадно видеть, что за последнее время в ИЯФ появилось много аспирантов и студентов, которые планируют продолжать свои научные исследования в его стенах. Известно, что современная молодежь тянется туда, где интересно, где есть перспективы для роста. А в ИЯФ такие перспективы, несомненно, есть. Следует подчеркнуть и тот факт, что проведение сложнейших современных экспериментов требует усилий не одного человека, а мощной команды единомышленников. Вот почему приток свежих сил так важен для института

Плазма — загадочная материя, обладающая свойством самоорганизации



ДЛЯ ТЕРМОЯДА

Плазма — это полностью или частично ионизованный газ, в котором суммарный отрицательный заряд частиц равен суммарному положительному заряду. И потому в целом она представляет собой электрически нейтральную среду, или, как говорят физики, обладает свойством квазинейтральности. Это состояние вещества считается четвертым (после твердого, жидкого и газообразного) агрегатным и является нормальной формой существования при температуре порядка 10 000 градусов по Цельсию и выше.

Исследования этого необычного состояния вещества в природе проводятся уже более века. Начиная со

второй половины 20 столетия «генеральное направление» — осуществление самоподдерживающейся управляемой реакции термоядерного синтеза (УТС). Высокотемпературные сгустки плазмы во Вселенной распространены очень широко: достаточно назвать Солнце и звезды. А вот на Земле ее совсем мало. Космические частицы и солнечный ветер ионизуют верхний слой атмосферной оболочки Земли (ионосфера), а образовавшаяся плазма удерживается земным магнитным полем. Иными словами — это своего рода земная магнитная ловушка. В период повышенной солнечной активности поток заряженных частиц солнечного ветра



ШОШИН Андрей Алексеевич — младший научный сотрудник Института ядерной физики СО РАН, преподаватель кафедр общей и теоретической физики НГУ (Новосибирск).
Область научных интересов — физика плазмы, спектроскопия, воздействие плазмы на материалы



АНИКЕЕВ Андрей Витальевич — к. ф.-м. н., старший научный сотрудник Института ядерной физики СО РАН, преподаватель кафедры физики плазмы НГУ.
Лауреат премии Будкера СО РАН (1996), стипендиат немецкого Фонда Александра фон Гумбольдта

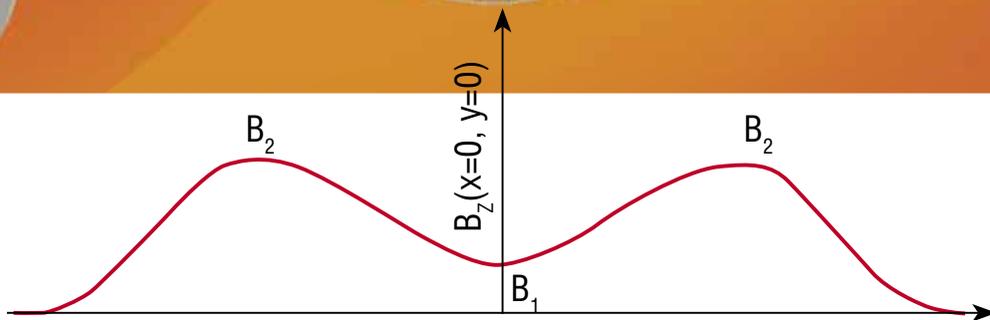
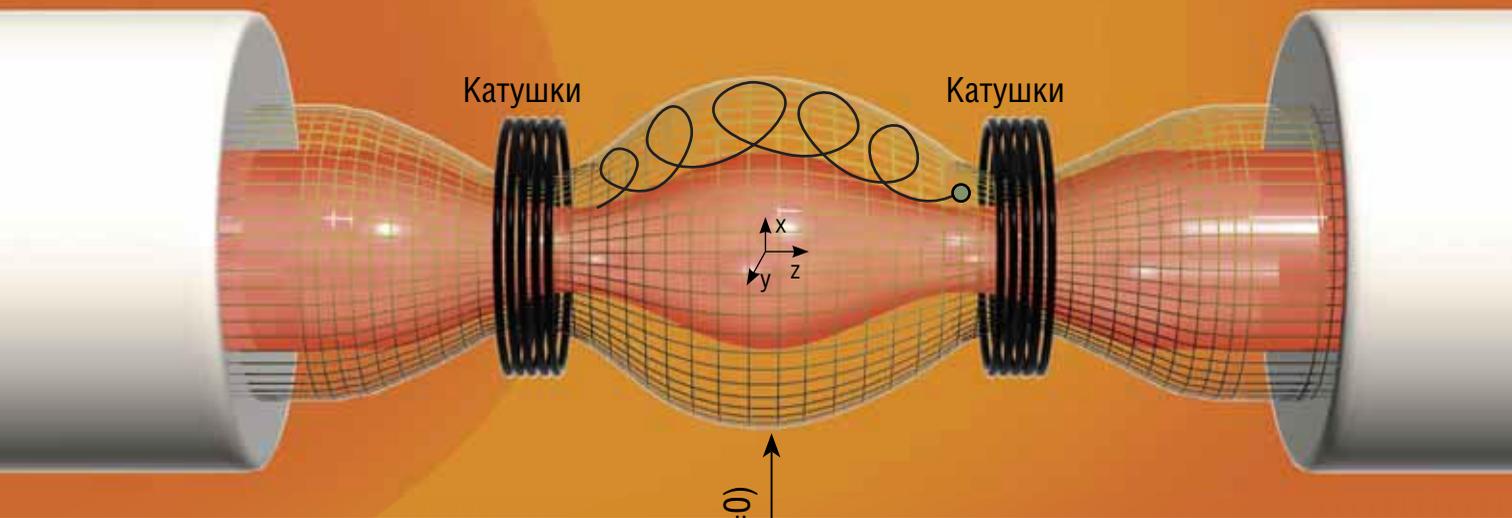
деформирует магнитосферу планеты. Вследствие развития гидромагнитных неустойчивостей плазма проникает в верхнюю атмосферу в районе полюсов — и атмосферные газы, взаимодействуя с заряженными частицами плазмы, возбуждаются и высвечиваются. Этим обусловлено явление полярного сияния, которое можно наблюдать только на полюсах.

Наряду с «генеральным направлением» в исследовании физики плазмы, существуют и другие, не менее важные, прикладные. Это привело к появлению многочисленных новых технологий: плазменная резка, сварка и обработка поверхности металлов. В качестве рабочего тела плазма может использоваться в двигателях космических кораблей и люминесцентных лампах для освещения. Применение плазменных технологий вызвало настоящий переворот в микроэлектронике. Не только существенно повысилась производительность процессоров и увеличился объем памяти, но и значительно снизилось количество используемых в производстве химикатов — таким образом, уровень ущерба, наносимого экологии, удалось минимизировать.

Плотная высокотемпературная плазма существует только в звездах, на Земле ее можно получить лишь в лабораторных условиях. Это необычное состояние вещества поражает воображение большим количеством степеней свободы и, вместе с тем, способностью к самоорганизации и отклику на внешнее воздействие. К примеру, плазму можно удерживать в магнитном поле, заставляя принимать различные формы. Однако она стремится принять то состояние, которое для нее наиболее энергетически выгодно, что часто приводит к развитию различных неустойчивостей, и, подобно живому организму, вырваться на свободу из жесткой «клетки» магнитной ловушки, если конфигурация этой ловушки ее не устраивает. Вот почему задача физиков — создать такие условия, чтобы плазма была устойчивой,

Общий вид установки ГДЛ





Конфигурация магнитного поля в пробкотроне, используемом для удержания плазмы:
 а — схема расположения катушек и конфигурация магнитного поля (показана часть траектории захваченной частицы);
 б — изменение магнитного поля вдоль оси пробкотрона

«жила» в ловушке долго и спокойно, нагревалась до термоядерных температур порядка 10 миллионов градусов по Цельсию.

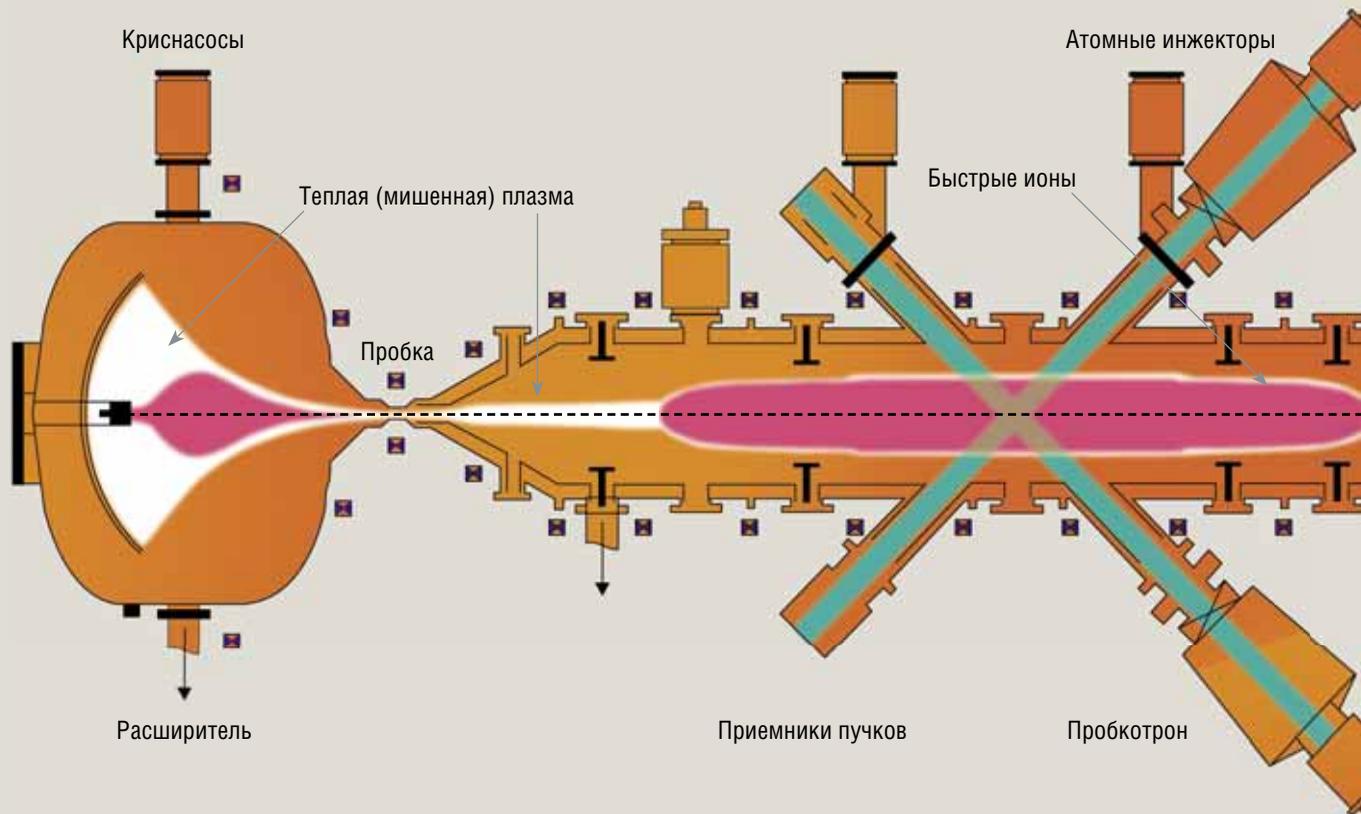
На сегодняшний день в ИЯФ успешно функционируют две уникальные большие плазменные ловушки, которые явились итогом применения на практике оригинальных идей и принципов, рожденных в стенах института. Это ловушки открытого типа, существенно отличающиеся от популярных замкнутых магнитных систем. Они поражают своей загадочной грандиозностью и в то же время простотой функционирования. За всю историю работы на установках ученым удалось получить важные результаты по нагреву и удержанию плотной горячей плазмы, а также сделать ряд открытий, связанных с фундаментальными свойствами этого четвертого состояния вещества. Каждый год преподносил что-нибудь новое и необычное то в одних, то в других условиях для жизни в ловушках при изменении конфигурации магнитного поля, при создании электрических полей, при добавке различных примесей, а также при инъекции в плазму мощных пучков и при «прощупывании» плазмы различными диагностиками. И плазма,

«реагируя» на подобные действия, пусть и неохотно, но делилась с исследователями своими самыми сокровенными тайнами...

Газодинамическая ловушка (ГДЛ)

Установка ГДЛ, созданная в новосибирском Институте ядерной физики в 1986 г., относится к классу открытых ловушек и служит для удержания плазмы в магнитном поле.

Конфигурация магнитного поля в классической открытой аксиально-симметричной ловушке представляет собой вытянутую область однородного магнитного поля с максимумами на краях, которые достигаются при помощи кольцевых катушек сильного магнитного поля. Области под этими катушками (те области пространства, занятого магнитным полем, в которых оно достигает максимального значения) принято называть «магнитными пробками», а ловушку, устроенную по такому принципу, — «пробкотроном». В простейшем



случае магнитное поле в пробкотроне создается только магнитными пробками.

Заряженные частицы плазмы (отрицательные электроны и положительные ионы) движутся по силовым линиям магнитного поля между магнитными пробками, отражаясь от них и совершая, таким образом, колебательные движения. Частицы, имеющие кинетическую энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера пробки, покидают ловушку за один пролет.

Отличиями газодинамической ловушки (ГДЛ) от обычного пробкотрона, описанного выше, являются большая протяженность участка однородного поля в центре ловушки и очень большое «пробочное отношение» (отношение $R = V_1/V_2$ значений магнитного поля в пробке и в центре ловушки). В такой конфигурации длина свободного пробега ионов мала по сравнению с длиной участка однородного магнитного поля, поэтому истечение плазмы из установки происходит по законам газовой динамики аналогично истечению газа в вакуум из сосуда с маленьким отверстием, чем и обусловлено название установки. Делая «отверстия»

в магнитных пробках очень маленькими, а объем, занимаемый плазмой, большим, можно получить время удержания плазмы, достаточное для осуществления управляемой термоядерной реакции. Правда, вот длина подобного пробкотрона-реактора будет составлять несколько километров. Однако использование различных устройств, так называемых амбиполярных плагов, уменьшающих поток плазмы в пробки, позволит уменьшить длину ловушки до разумных пределов. Поэтому реакторные перспективы такой ловушки остаются по-прежнему привлекательными. Наиболее перспективным термоядерным приложением схемы удержания плазмы является создание на основе ГДЛ простого и надежного источника быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ, которые рождаются в реакции синтеза ядер дейтерия и трития. Фактически это тот же термоядерный реактор (только с малым КПД), потребляющий энергию и вырабатывающий нейтроны. Такой нейтронный генератор можно использовать для проведения материаловедческих испытаний первой стенки будущего промышленного термоядерного реак-

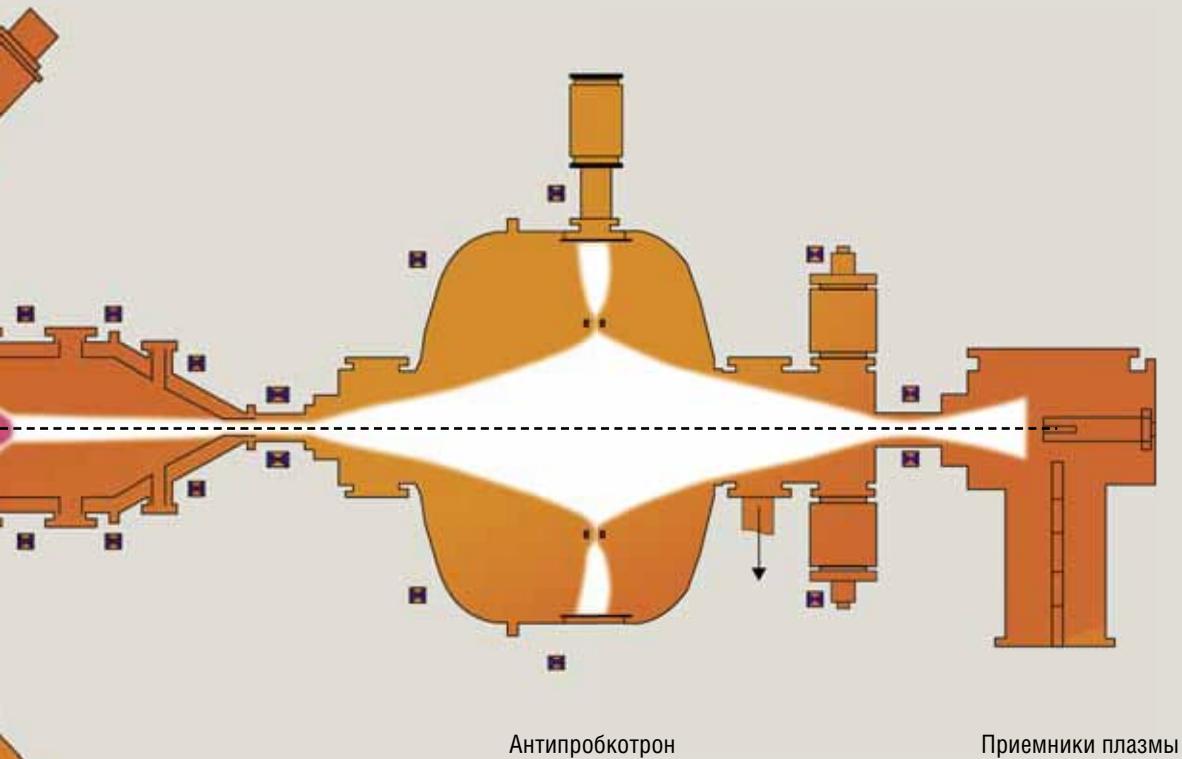


Схема установки ГДЛ



Работа внутри вакуумной
камеры установки ГДЛ



тора или для подпитки слабо энергетическими нейтронами реактора деления, что делает безопасным современную ядерную энергетику. Проект нейтронного источника на основе газодинамической ловушки в течение многих лет разрабатывается в Институте ядерной физики. В целях практической проверки предсказаний теории и накопления базы данных для создания нейтронного источника в Институте ядерной физики СО РАН и была создана экспериментальная модель газодинамической ловушки — установка ГДЛ.

Главной частью установки является осесимметричный пробкотрон длиной 7 м, с полем 0,3 Тл в центре и до 10 Тл в пробках, предназначенный для удержания двухкомпонентной плазмы.

Одна из компонент — теплая «мишенная» плазма — имеет температуру электронов и ионов до 100 эВ (это примерно 1 200 000 градусов по Цельсию) и плотность $\sim 5 \cdot 10^{19}$ частиц в кубическом метре. Для этой компоненты характерен газодинамический режим удержания, описанный выше. Другая компонента — это быстрые ионы со средней энергией $\sim 10\,000$ эВ и плотностью до $2 \cdot 10^{19}$ частиц в кубическом метре. Они образуются в результате ионизации в мишенной плазме мощных пучков атомов, наклонно инжектируемых в ловушку с помощью специальных устройств — инжекторов нейтральных атомов. Для этой быстрой компоненты характерен тот же режим удержания, что и в классическом пробкотроне: быстрые ионы движутся по магнитным орбитам вдоль силовых линий магнитного поля и отражаются от области сильного магнитного поля. При этом быстрые ионы тормозятся при взаимодействии с частицами мишенной

Система атомарной инжекции установки ГДЛ



Этот макет — уменьшенная копия установки, которая должна стать следующим большим шагом на пути к созданию мощного нейтронного источника

В настоящее время международное научное сообщество, занимающееся решением проблемы УТС, приступило к строительству крупнейшей плазменной ловушки типа токамак под названием «ИТЭР». В ближайшие десятилетия ИТЭР должен продемонстрировать возможность функционирования самоподдерживающейся управляемой термоядерной электростанции на основе реакции синтеза дейтерия и трития.

Однако очевидно, что для дальнейшего развития термоядерной энергетики будущего и строительства таких станций, которые будут работать десятилетиями и даже столетиями, уже сегодня нужно отобрать надежные материалы, способные на протяжении всего срока службы выдерживать сильные нейтронные потоки. Для проведения испытаний таких материалов необходим мощный нейтронный источник. ИЯФ уже в течение многих лет разрабатывает проект такого источника на основе ГДЛ.

Все физические принципы, заложенные в основу компактного и относительно недорогого нейтронного источника на основе открытой газодинамической ловушки, в данное время исследуются в реальном эксперименте по накоплению, удержанию и нагреву плазмы в установке ГДЛ. Уже сегодня проходят прямые измерения излучаемого нейтронного потока в опытах с инъекцией дейтерия. Реакция синтеза дейтерий-дейтерий при данных параметрах эксперимента дает, в общем-то, небольшой поток по сравнению с реакцией дейтерий-тритий. Но для проверки модельных расчетов, которые в будущем планируется использовать для расчетов реактора-источника, их вполне достаточно. В декабре этого года установке исполняется 22 года: первая плазма была получена в конце 1985 г. Те, кто строил и запускал ее, и сегодня еще работают в лаборатории. Но команда пополнилась и новыми, молодыми и энергичными, сотрудниками: некоторые из них — ровесники самой установки ГДЛ

плазмы (в основном с электронами) и нагревают ее до 100 эВ и выше. При наклонной инжекции и малом угловом рассеянии частиц плотность быстрых ионов оказывается сильно пикированной (большой) вблизи области отражения, и это обстоятельство является наиболее привлекательным для реализации нейтронного источника. Дело в том, что поток нейтронов в реакции синтеза пропорционален квадрату плотности ионов дейтерия и трития. И потому при подобной пикировке плотности он будет сосредоточен только в области остановки, где и будет размещаться «тест-зона». Остальное же пространство установки будет испытывать гораздо меньшую нейтронную нагрузку, что позволит отказаться от дорогостоящей нейтронной защиты всех узлов генератора.

Важной проблемой на пути к созданию реактора и нейтронного источника на основе аксиально-симметричного пробкотрона является стабилизация плазмы поперек магнитного поля. В схеме ГДЛ она достигается благодаря специальным дополнительным секциям с благоприятным для устойчивости профилем магнитного поля, которые расположены за магнитными пробками и обеспечивают надежную стабилизацию плазмы.

Другой важной проблемой управляемого термоядерного синтеза (УТС) на основе открытых ловушек является термоизоляция плазмы от торцевой стенки. Дело в том, что, в отличие от замкнутых систем типа токамак или стелларатор, из открытой ловушки плазма вытекает и попадает на плазмодриемники. При этом холодные электроны, эмитированные под действием потока с поверхности плазмодриемника, могут проникать обратно в ловушку и сильно охлаждать плазму. В опытах по изучению продольного удержания на установке ГДЛ удалось продемонстрировать, что расширяющееся магнитное поле за пробкой перед плазмодриемником в торцевых баках — расширителях — препятствует проникновению холодных электронов в ловушку и дает эффективную термоизоляцию от торцевой стенки.

В рамках экспериментальной программы ГДЛ ведется постоянная работа, связанная с повышением устойчивости, мишенной температуры и плотности быстрых частиц плазмы; с исследованием ее поведения в различных условиях работы установки и т. д. Ведется также и изучение фундаментальных свойств. Стоит подчеркнуть, что спектр научных интересов и исследований, имеющих отношение к плазме, очень широк.

Установка ГДЛ оснащена самыми современными средствами диагностики. Большинство из них разработано в нашей лаборатории и, ко всему прочему, на контрактной основе поставляется в другие плазменные лаборатории, в том числе и зарубежные.

Команда ученых, инженеров и технических работников, ведущих исследования на установке ГДЛ, неболь-

шая, но невероятно трудоспособная. Высокий уровень квалификации всех ее членов помогает им добиваться и высоких результатов. К тому же, научные кадры постоянно пополняются «молодой кровью» — выпускниками НГУ и НГТУ. Студенты различных курсов, проходя практику в лаборатории, с первых дней принимают активное участие в экспериментах, внося, тем самым, непосредственный вклад в создание новых знаний. Уже после первой курсовой работы они остаются на практику в лаборатории, успешно защищают дипломы, поступают в аспирантуру и готовят кандидатские диссертации. Не скроем, это чрезвычайно радует и нас, научных руководителей.

Другая ловушка — «ГОЛ-3» — и несколько иной угол зрения на термояд

Человечество испытывает недостаток электричества, и в ближайшем будущем эта проблема станет первоочередной: запасы топлива — нефть и газ, — используемого на основных современных электростанциях, увы, истощаются. Вот почему основой электроэнергетики будущего должны стать термоядерные реакторы.

Термоядерные реакции — это реакции синтеза легких ядер, например изотопов водорода дейтерия и трития, с выделением большого количества энергии. Для осуществления этих реакций требуется большая температура — более 10 миллионов градусов Цельсия. Известно, что любое вещество при температуре более 10 тысяч градусов Цельсия становится плазмой. Контакт с твердым телом приводит к мгновенному ее охлаждению и взрывному разрушению поверхности твердого тела, поэтому плазма должна быть изолирована от конструкции: с этой целью ее и помещают в магнитное поле.

Нагреть вещество до огромных температур и в течение длительного времени удерживать в магнитном поле чрезвычайно сложно — и потому многие специалисты считают управляемый термоядерный синтез (УТС) наиболее сложной из когда-либо стоявших перед человечеством задач.

Установка ГОЛ-3 в Институте ядерной физики СО РАН предназначена для нагрева и удержания термоядерной плазмы в многопробочном магнитном поле. Установка состоит из трех основных частей: ускорителя У-2, 12-метрового соленоида (узла для создания сильного магнитного поля) и выходного узла.

Электронный пучок, который используется в установке, создается самым мощным в мире (в своем классе) ускорителем У-2. В нем электроны вытягиваются электрическим полем из взрывоэмиссионного катода и ускоряются напряжением около 1 миллиона Вольт.



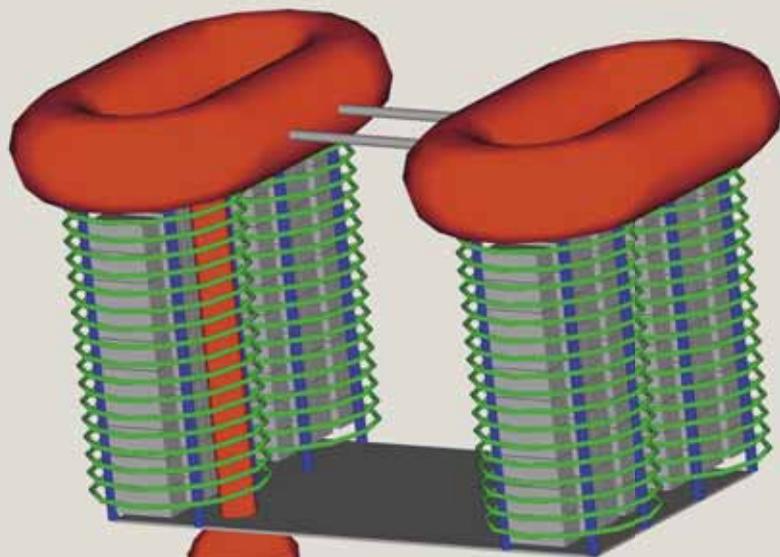
Генератор мегавольтных импульсов ускорителя У-2, используемого для нагрева плазмы в многопробочной ловушке ГОЛ-3

При токе 50 000 Ампер мощность системы достигает 50 ГВт. (А вот весь Новосибирск в дневное время суток потребляет энергии в 20 раз меньше.) При длительности пучка около 8 микросекунд в нем содержится до 200 000 Дж энергии (что эквивалентно взрыву ручной гранаты).

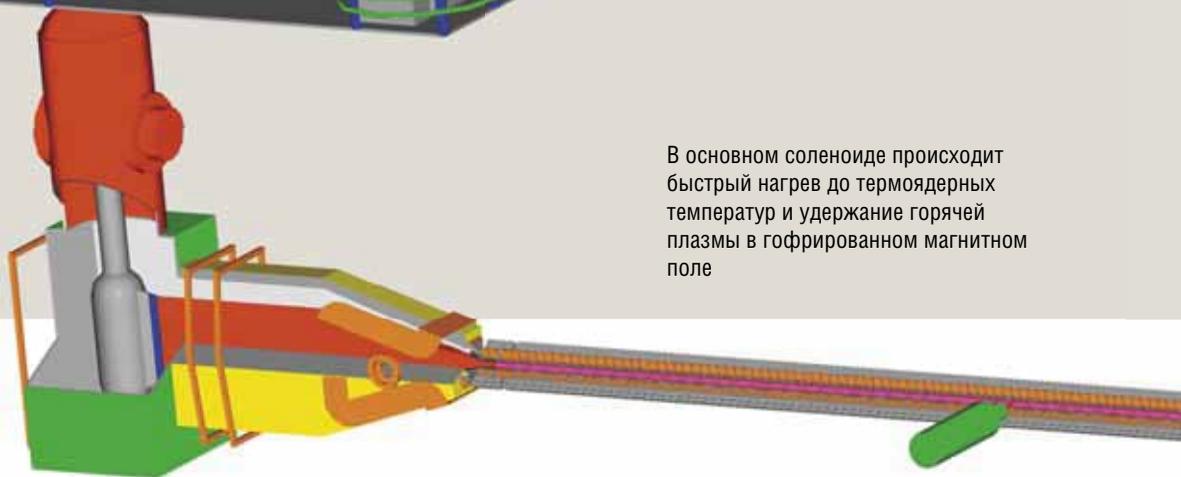
В основном соленоиде при пролете пучка в дейтериевой плазме с плотностью $n = 10^{20} - 10^{22}$ частиц в кубическом метре вследствие развития двухпоточковой неустойчивости возникает большой уровень микротурбулентности и пучок теряет до 40 % своей энергии, передавая ее электронам плазмы. Темп нагрева очень высокий: за 3–4 микросекунды плазменные электроны нагреваются до температуры порядка 2 000–4 000 эВ (23–46 миллиона градусов Цельсия: 1 эВ = 11 600 градусов Цельсия) – это мировой рекорд для открытых ловушек (для сравнения: на установке 2ХИВ в США температура не превышала 300 эВ против 2 000–4 000 эВ на ГОЛ-3).

Магнитное поле в основном соленоиде – многопробочное (55 пробкотронов), т. е. максимумы (5 Тл) и минимумы (3 Тл) поля чередуются, причем расстояние между максимумами (22 см) – порядка длины пробега ионов. К чему это приводит: если ион покинет одиночный пробкотрон и полетит вдоль магнитного поля, то в соседнем пробкотроне он столкнется с другой частицей, в результате может быть захвачен соседним пробкотроном, и тогда он «забудет», куда летел. Таким образом, разлет плазмы из ловушки существенно замедляется. А вот время удержания горячей плазмы на ГОЛ-3 составляет до 1 миллисекунды, что можно признать несомненным достижением ученых.

Многопробочность приводит к неоднородности передачи энергии от пучка к электронам плазмы: там, где магнитное поле больше, нагрев



Генератор электронного пучка У-2 создает мощный электронный пучок для нагрева плазмы



Ленточный диод

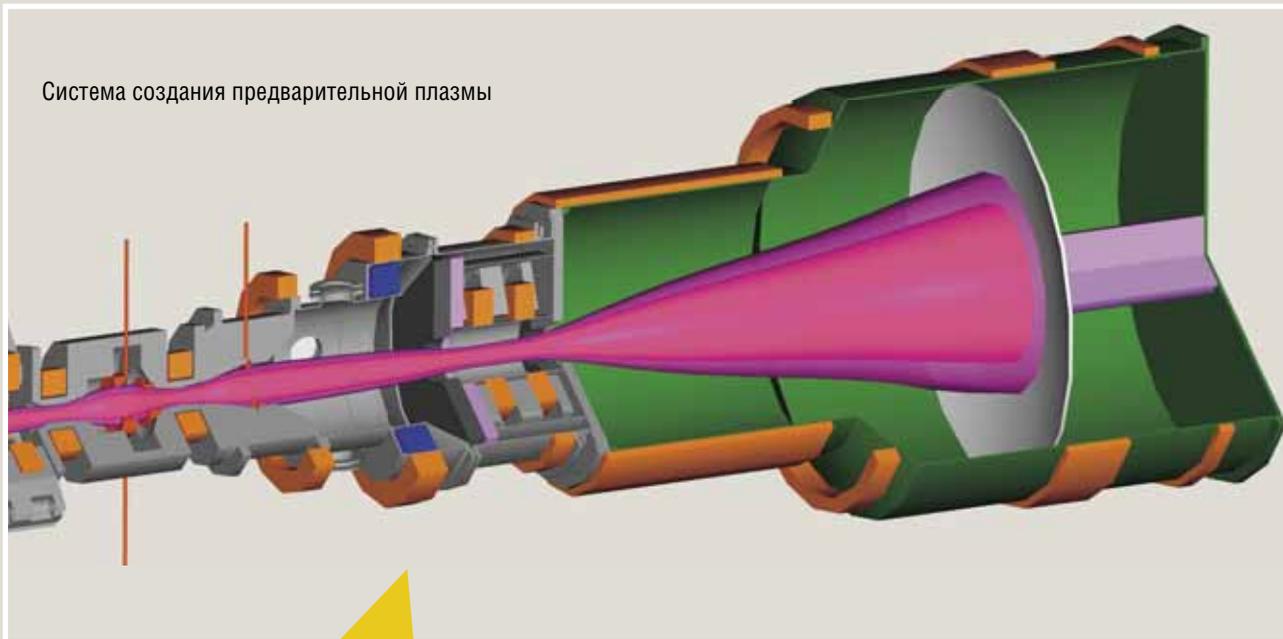
В основном соленоиде происходит быстрый нагрев до термоядерных температур и удержание горячей плазмы в гофрированном магнитном поле

электронов сильнее. При нагреве же пучком высокий уровень турбулентности способствует сильному (более чем в тысячу раз) подавлению электронной теплопроводности, поэтому не выравниваются неоднородности температуры, и следовательно, возникают большие перепады давления плазмы: по этой причине плазма начинает двигаться как целое. Из областей высокого давления к минимумам давления с двух сторон начинают двигаться два встречных плазменных потока, которые сталкиваются и прогреваются до температуры 1–2 кэВ (она немного выше, чем в центре Солнца).

Данный механизм быстрого нагрева был открыт на ГОЛ-3 четыре года назад в процессе экспериментов. Из теории следовало, что он должен сопровождаться резкими скачками плотности плазмы, которые вскоре были обнаружены методом томсоновского рассеяния луча лазера.

После пролета основного соленоида пучок попадает в выходной узел, который способен принять мощный пучок электронов, а также поток плазмы и при этом не разрушиться. Для этого магнитное поле в выходном узле должно быть расходящимся, что раз в 50 уменьша-

Система создания предварительной плазмы



Выходной узел обеспечивает стабильность работы установки и принимает мощный поток плазмы из основного соленоида



Приемник пучка

Схема многопроходной ловушки ГОЛ-3

ет плотность энергии в пучке, а приемник пучка — графитовым. Особенность графита, во-первых, в том, что у него нет жидкой фазы, он сразу испаряется; во-вторых, он имеет незначительную плотность (2 г/см^3), благодаря чему пробег электронов в нем выше, чем в металлах, а следовательно, энергия выделяется в большем объеме и не превышает порога взрывного разрушения графита, и потому эрозия графита невелика — порядка 1 микрона за выстрел. Наличие на выходе установки мощного плазменного потока позволяет проводить эксперименты по облучению материалов для термоядерных реакторов буду-

щего: эти реакторы будут подвергаться такому высокому уровню тепловых нагрузок, достичь которого на других плазменных установках сегодня пока нереально.

Другая важная задача, которую можно решить с помощью выходного узла, — это обеспечение безопасности транспортировки пучка через основной соленоид. Вся сложность проблемы заключается в том, что ток пучка в соленоиде (30 кА) больше порога устойчивости (для камеры ГОЛ-3 — 12 кА), поэтому пучок неустойчив и может выбраться на стенку или внутрикамерные конструкции, что приведет к их разрушению. С этой



Выходной узел многопробочной ловушки ГОЛ-3

целью перед инъекцией пучка в выходном узле нужно пробить разряд (молнию), и тогда основной соленоид заполнится относительно холодной (несколько эВ) предварительной плазмой, в которой при инъекции электронного пучка наводится встречный ток, и он полностью компенсирует ток пучка, что в целом обеспечивает системе стабильность (суммарный ток не будет превышать 3 кА).

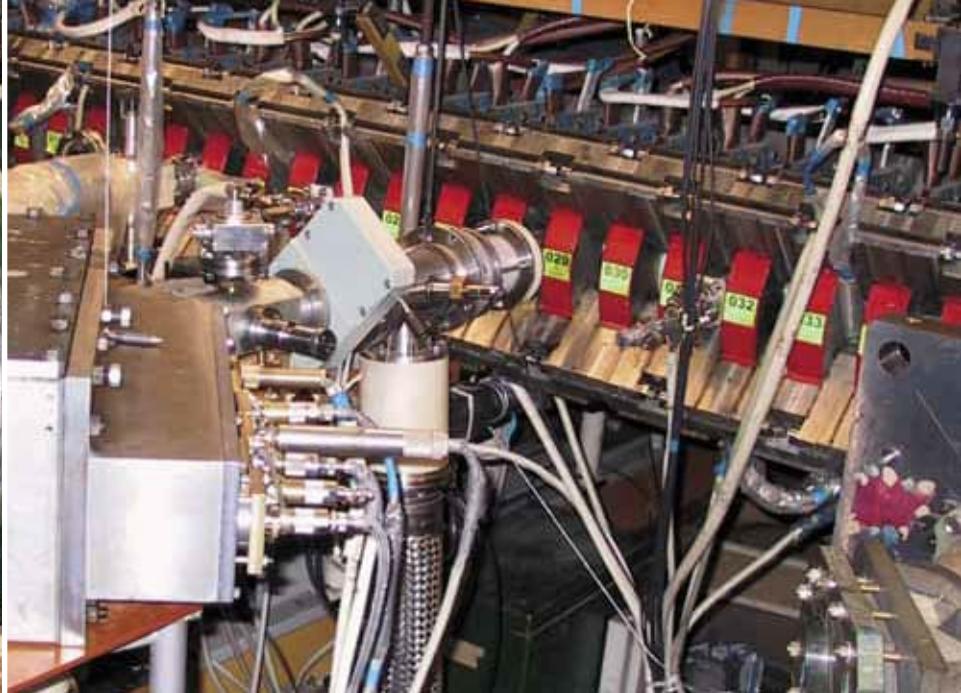
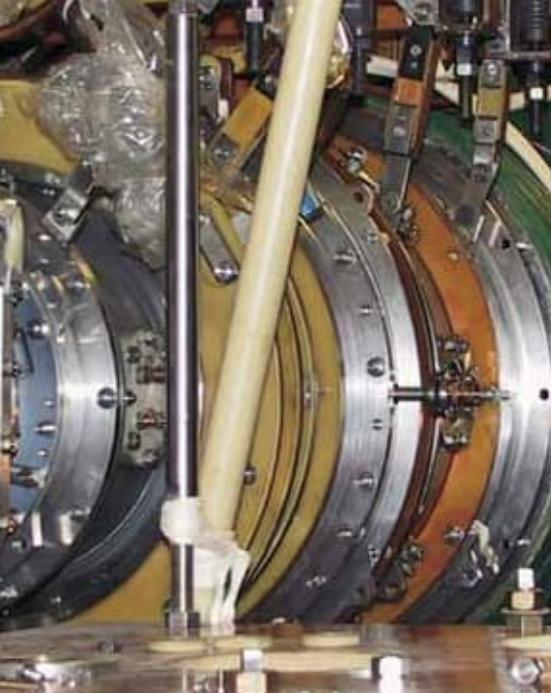
Одна из самых серьезных проблем УТС — устойчивость плазмы, т.е. создание условий, при которых плазма не могла бы покинуть ловушку поперек магнитного поля из-за развития различных плазменных неустойчивостей. Для открытых ловушек самой опасной является желобковая неустойчивость. Суть ее в том, что плазма раздвигает магнитные силовые линии и между ними проскальзывает наружу. В плазме ГОЛ-3 эта неустойчивость подавлена благодаря сдвигу магнитных силовых линий на разных радиусах плазмы, который возникает по причине сложной конфигурации токов в плазме. В центре плазмы течет ток пучка, там же — высокий уровень турбулентности. Обратный ток течет по плазме, но из-за турбулентности в центре ее сопротивление возрастает — и обратный ток течет по поверхности плазменного шнура. Прямолинейный ток создает вокруг себя круговое магнитное поле, что вместе с продольным полем соленоида дает спиральное магнитное поле. На разных радиусах ток разный (и те-

чет в разные стороны) — поэтому и шаг, и направление спирали тоже разные. Вот почему когда плазменный желобок раздвигает магнитные силовые линии на одном радиусе, то он натывается на силовые линии под другим углом и не может их раздвинуть — так подавляется желобковая неустойчивость.

Непростой задачей является и диагностирование горячей плазмы, т.е. определение ее температуры, состава, плотности, величины магнитного поля и многого другого. Градусник туда не вставишь — он может взорваться — и плазма остынет. Приходится использовать различные специальные методы, которые делятся на пассивные и активные. С помощью пассивных диагностик можно изучить то, что излучает плазма. С помощью активных — инжектировать в плазму, например, свет лазера или пучки атомов и посмотреть, что из этого выйдет.

Из пассивных диагностик на установке ГОЛ-3 работают детекторы и спектрометры фотонов в видимой, ультрафиолетовой, рентгеновской и гамма-областях, детекторы нейтронов, детектор нейтралов перезарядки, диамагнитные зонды и пояса Роговского. Из активных — несколько лазерных систем, инжектор атомарных пучков и инжектор твердотельных крупинок.

Хотя сейчас к реакторным параметрам наиболее близки токамаки (у них выше температура и время удержания), благодаря ГОЛ-3 многопробочные ловушки также



В выходном узле ГОЛ-3 проводятся эксперименты по изучению стойкости материалов под воздействием мощного плазменного потока

Многоканальный анализатор нейтралов перезарядки позволяет измерять температуру ионов масштаба 25 миллионов градусов

рассматриваются в качестве варианта термоядерного реактора. Плотность плазмы в ГОЛ-3 почти в сто раз выше, чем в токамах в среднем, к тому же, в отличие от токамаков, в этой установке нет ограничений по давлению плазмы. Если давление будет сравнимо с давлением магнитного поля (5 Тл создает давление ~100 атмосфер), то ловушка перейдет в режим «стеночного» удержания — вытолкнутое из плазмы магнитное поле (т.к. плазма — диамагнетик) будет концентрироваться и увеличиваться вблизи стенок камеры и все равно сможет удерживать плазму. В настоящее время нет ни одной причины, которая бы принципиально ограничивала рост основных термоядерных параметров (n , T и время удержания) в многопробочных ловушках.

Основная задача, стоящая сегодня перед коллективом установки ГОЛ-3 — это разработка концепции многопробочного термоядерного реактора, а также экспериментальная проверка основных положений этой концепции.

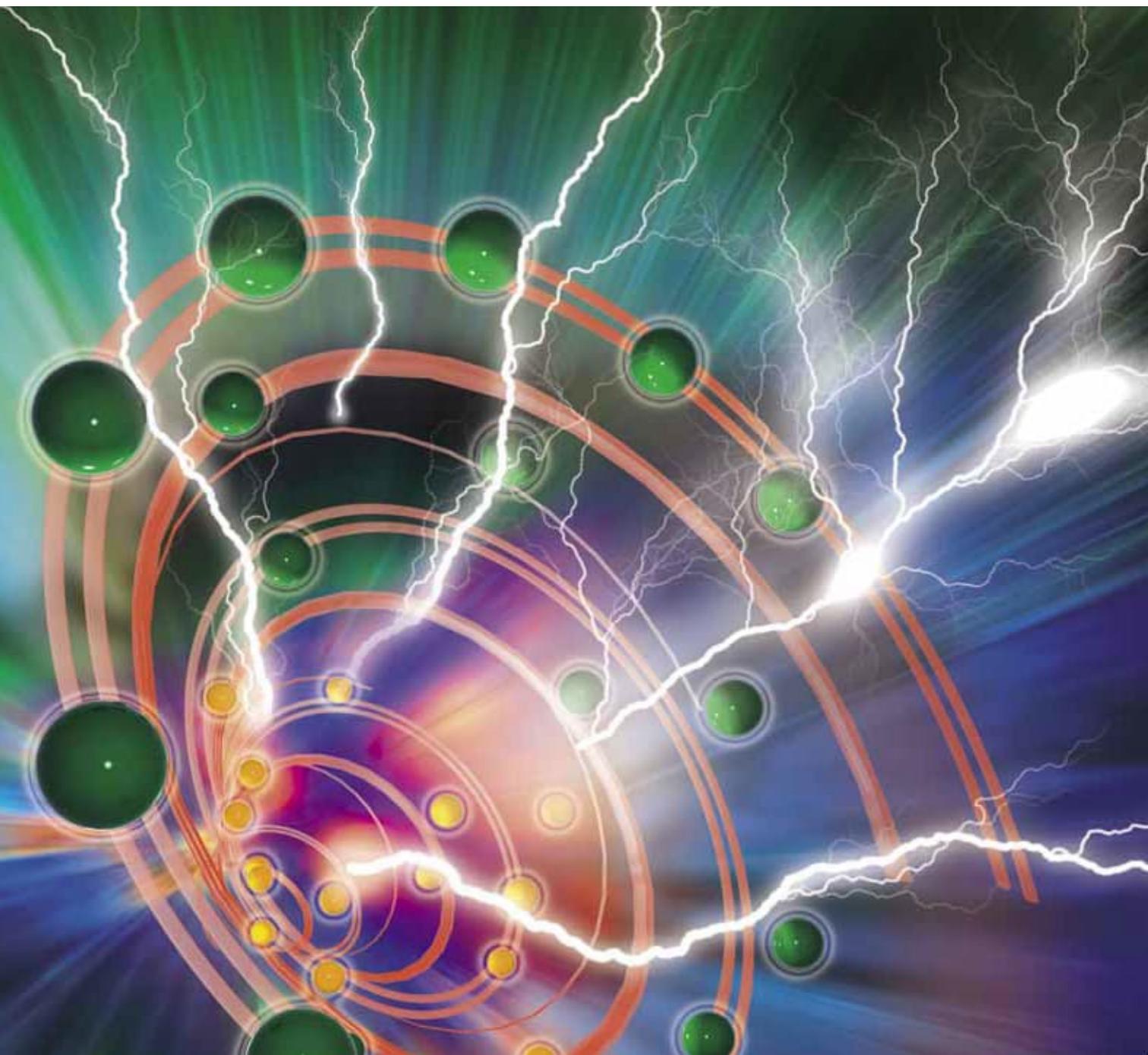
Не хлебом единым... Но и хлебом тоже

Исследование плазмы не может осуществляться без диагностики, и потому разработки ИЯФ охотно покупаются. Институт заключает контракты на поставку некоторых средств диагностики, научные сотрудники занимаются разработкой, сборкой этих средств в собственных цехах. В основном это диагностические инжекторы, но есть также и некоторые оптические приборы, интерферометры и т.д. Дело не стоит на месте: деньги зарабатывать ИЯФ тоже умеет.

Литература

1. A. Burdakov, A. Azhannikov, V. Astrelin, A. Beklemishev, V. Burmasov at all. Plasma heating and confinement in GOL-3 multimirror trap // Transactions of Fusion Science and Technology. — 2007. — Vol. 51. — No. 2T. — Pp. 106–111.
2. А.В. Аржанников, В.Т. Астрелин, А.В. Бурдаков, И.А. Иванов, В.С. Койдан, С.А. Кузнецов, К.И. Меклер, С.В. Полосаткин, В.В. Поступаев, А.Ф. Ровенских, С.Л. Сивецкий, Ю.С. Суляев, А.А. Шошин. Исследование механизма быстрого нагрева ионов в многопробочной ловушке ГОЛ-3 // Физика плазмы. — 2005. — Т. 31. — № 6. — С. 506–520.

В ПОИСКАХ ЭНЕРГИИ БОЛЬШОГО



ВЗРЫВЫ В А



ГРАЧЕВ Михаил Александрович — действительный член РАН, доктор химических наук, директор Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Основные научные интересы — молекулярная энзимология, палеоклимат, аналитическая химия. М. А. Грачев принимал активное участие в подготовке Закона об охране озера Байкал. Лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии А. П. Карпинского

Как известно, все химические элементы образовались при сжатии вещества Вселенной после Большого Взрыва. Протоны и нейтроны соединились в более или менее устойчивые комбинации. Неустойчивые комбинации привели к образованию радиоактивных элементов, которые к настоящему времени распались или сохранились лишь в малых количествах. В природных радиоактивных веществах запасена энергия Большого Взрыва, подобно тому как в ископаемых топливах запасена световая энергия Солнца предыдущих геологических эпох. Ядерная энергия, освобождающаяся при радиоактивном распаде, на много порядков выше энергии химического горения — это хорошо известно еще с конца 19 в. — но использовать ее в серьезных практических целях представлялось невозмож-

ным, так как внешние условия: давление, температура, атака химическими реагентами — на скорость радиоактивного распада ядер не влияют.

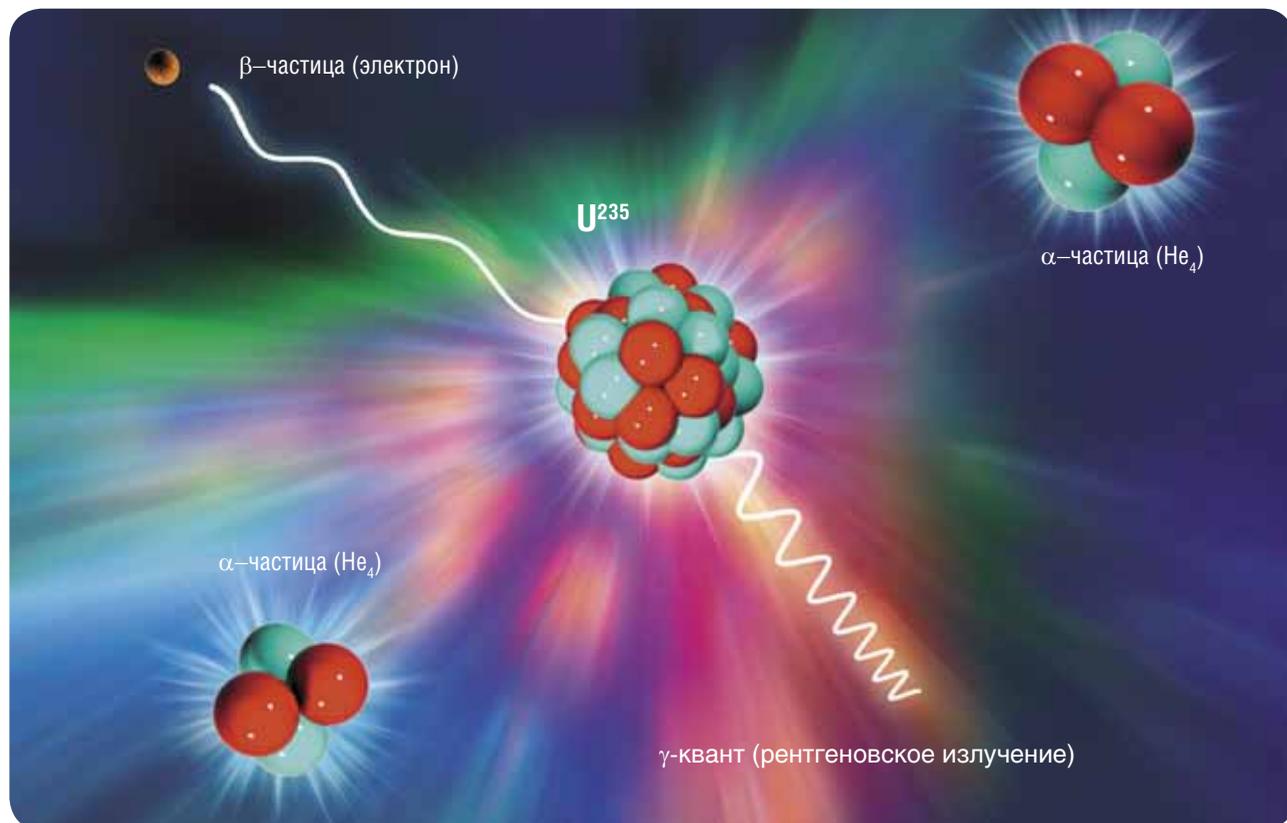
Ситуация коренным образом изменилась, когда в конце 1930-х гг. была открыта ядерная реакция деления урана. Ядро урана, подобно большой капле, неустойчиво и при ударе случайного нейтрона легко распадается на две приблизительно равные части. Самое главное, что при таком распаде образуется несколько новых свободных нейтронов. Попадая в ядро соседнего атома урана, нейтрон вызывает его распад, и образуется еще несколько нейтронов. Каждый из них, попав в новое ядро, вызывает и его распад. Реакция распада протекает подобно лавине: в ней высвобождается огромное количество запасаемой во время Большого Взрыва энергии, и этой энергией можно управлять, регулируя поток нейтронов. Если быстро собрать в одну точку много (несколько килограммов) урана (критическую массу), произойдет ядерный взрыв. Если урановые блоки подкидывать в ядерную топку постепенно, будет происходить медленное ядерное горение — тепло будет выделяться постепенно, получится тепловая станция.

Физики-ядерщики сразу поняли, что из урана можно сделать абсолютное оружие — атомную бомбу. Несколько десятков килограммов урана при ядерном взрыве высвободят энергию тысяч тонн тротила.

Однако, к счастью для человечества, которое уже втягивалось во Вторую мировую войну, оказалось, что распаду по описанному сценарию подвергается только один из изотопов урана — уран-235, присутствующий в природной смеси изотопов лишь в малом количестве (около 0,7%). Ядерную бомбу из природного урана сделать нельзя — нужно каким-то образом обогатить его, повысить содержание урана-235. Именно эту сложнейшую

Природный уран в основном состоит из смеси трех видов изотопов: 238, 235 и 234. Его содержание по массе в земной коре в среднем чуть более двух десятитысячных долей. Чистый уран по виду не отличается от обычного кусочка стали, хотя по удельному весу тяжелее любого металла, легко обрабатывается; измельченный в порошок, хорошо горит на воздухе. Однако, в отличие от безобидной стали, обладает сильной химической и радиационной токсичностью

Радиоактивный распад урана



задачу и решили участники инициированного в 1939 г. Альбертом Эйнштейном международного Манхэттенского проекта, целью которого было создать атомную бомбу раньше гитлеровской Германии. Итогом стала бомбардировка Хиросимы и Нагасаки, а также монополия Запада на ядерное оружие.

Уже в 1945 г., сразу по окончании мировой войны, началась война холодная. В США появился список из 18 городов Советского Союза, на которые планировалось сбросить атомные бомбы. К 1949 г. число этих городов выросло до ста.

С ядерной проблематикой я познакомился во вполне «зрелом» возрасте шести лет. Было это в 1945 г., в августе, когда американцы взорвали атомные бомбы в Японии. Тогда я спросил своего отца: «Папа, скажи, пожалуйста, а у Сталина есть атомная бомба?» Он ответил мне: «Конечно, сынок, есть, не беспокойся». Но атомной бомбы в то время у Сталина не было. Она появилась только в 1949 г., тогда же произошли ее первые испытания. А до того момента мир был на грани ядерной катастрофы. По крайней мере, нашей стране грозила полная демократизация на радиоактивном пепелище.

Неизвестно, как бы развивалась мировая история, если бы в 1949 г. СССР не испытал свое ядерное оружие. Появлению атомной бомбы в СССР, рискуя жизнью, способствовали иностранные ядерщики, которые понимали, что мировая монополия на ядерное оружие недопустима. Нависшую над населением СССР огромную угрозу отлично осознавали и советские ученые и инженеры, ценой героических усилий создавшие советскую ядерную отрасль. Я глубоко убежден в том, что именно огромный энтузиазм, огромная ответственность тех людей, которые создавали ядерную промышленность в Советском Союзе, привели к тому, что не было войны. Война могла быть только ядерной, а ядерное оружие стало обоюдоострым. И ядерная война не состоялась. По-моему, это важнейший фактор развития современной цивилизации.

Центрифуга на страже мира

Решение о строительстве Ангарского электролизного химического комбината — завода, производящего обогащенный уран-235, — было принято в 1954 г. В 1957 г. АЭХК вступил в строй, выдал первую продукцию, а затем и внес весомый вклад в дело защиты мира.

Процесс разделения изотопов урана основан на небольшом различии масс атомов (235 и 238 атомных единиц). Для разделения изотопов уран переводят в газообразный гексафторид. Более легкие молекулы находящегося в газовой фазе гексафторида урана-235 быстрее диффундируют через микроскопические отвер-

Средняя ТЭЦ, работающая на обычном угле, выбрасывает в атмосферный воздух с золой более 500 кг урана в год, в то время как Ангарский электролизный химический комбинат выбрасывает в атмосферный воздух не более 15 кг урана в год

Одна из систем для очистки вентиляционного воздуха от вытяжной вентиляции объектов, выделяющих значительные количества урана, устроена так, что на первом этапе воздух пропускается через башни с полками, на которых размещены опилки. Уран имеет высокое сродство к органике и хорошо улавливается опилками. Очищенный воздух из башен поступает на установки, в которых воздух промывается раствором соды. Здесь улавливаются следы урана

стия специальных пористых мембран. Последовательно пропуская газ через каскад из многих тысяч мембран, можно получить гексафторид чистого урана-235, отделив его от урана-238. Именно эта — диффузионная технология — была реализована в Манхэттенском проекте, а позднее и в Ангарске. Уму непостижимо, как в разоренной недавней войной стране, да еще в Сибири, удалось создать сложнейшее диффузионное производство.

Еще на заре ядерного века, наряду с диффузионным процессом разделения изотопов урана, рассматривался вариант их разделения в центрифуге. В роторе центрифуги молекулы гексафторида урана с тяжелым изото-

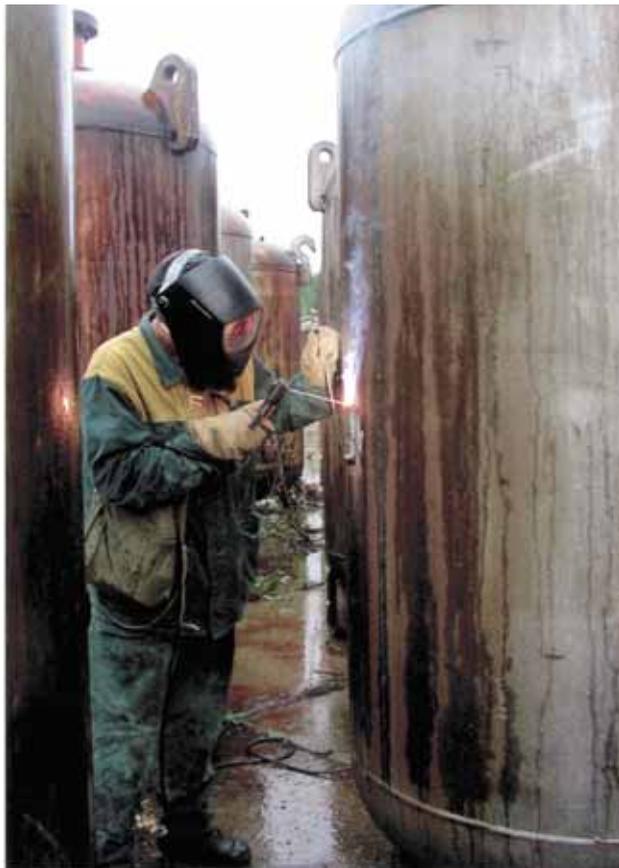




Разделение изотопов урана U-235 и U-238 с образованием обогащенного и обедненного газовых потоков гексафторида урана происходит в центрифугах. Центрифуги соединены коммуникациями в общую систему, коэффициент полезного действия которой, практически, приближается к ста процентам

Начиная с 1895 г. десятки ученых пытались найти техническое решение применения методов разделения изотопов в сильных гравитационных полях, особенно интенсивно в годы войны (1939—1945), включая беспрецедентные усилия и затраты США, в рамках программы «Манхэттенский проект», но безуспешно. В 1951 г. в СССР по решению Государственной комиссии и приблизительно в то же время в США работы в этом направлении были закрыты как бесперспективные. Однако уже в июле 1952 г. Постановлением Правительства СССР № 3088 снова возобновлены. Лишь в июне 1959 г. Министерством среднего машиностроения СССР для серийного производства была утверждена чертежно-техническая документация на газовую центрифугу ВТ-3Ф

пом урана концентрируются немного ближе к стенке ротора, чем молекулы с легким изотопом. Соединив множество центрифуг в каскад, можно получить значительно обогащенный гексафторид урана-235. Принцип разделения прост, но реализовать его было трудно. Для того чтобы разделить изотопы, нужно вращать ротор с огромной скоростью (1 500 оборотов в секунду). Ускорение при этом равно нескольким сотням тысяч ускорений силы тяжести Земли, и ротор испытывает огромные механические нагрузки. Советские инженеры создали системы подвески роторов, а также специальные особо прочные материалы. Был налажен серийный выпуск тысяч газовых центрифуг. В 1990-е гг. АЭХК полностью перешел на прогрессивную, энергосберегающую центрифужную технологию.



Один из твердых отходов АЭХК — гексафторид обедненного по изотопу 235 урана — хранится на открытой площадке АЭХК в стальных контейнерах на специальном складе. Обедненный ГФУ рассматривается как потенциальное сырье для энергетики будущего, а потому находится в госрезерве. В исключительно редких случаях в местах сварных швов образуются трещины, через которые на поверхность выделяется гексафторид урана. Однако трещина быстро «затягивается» фторидом уранила, и ее без выгрузки гексафторида урана заваривают электросваркой, а контейнер возвращают на производство для выгрузки

С целью обеспечения готовности персонала к ликвидации возможных аварийных ситуаций на подразделениях комбината проводятся регулярные противоаварийные тренировки в соответствии со стандартом комбината СТП 189 «Тренировки противоаварийные. Организация проведения, документальное оформление»

На обогащение урана диффузионным методом разделения изотопов урана тратится около 5% всей энергии, которая может быть получена из обогащенного таким способом продукта на атомной станции. При центрифужной технологии обогащения урана этот показатель уменьшается до 0,1%

(По материалам зарубежной печати)

Экологический аудит на страже АЭХК

В 2006 г. в печати появились первые сведения о том, что в России собираются создавать Международный центр по обогащению урана. Поскольку Иран хотел развивать свою ядерную программу, а международное сообщество было озабочено тем, чтобы у Ирана не появилось ядерное оружие, возникла идея создания в России центра, обеспечивающего условия, при которых обогащенный уран будет доступен всем добросовестным производителям энергии, которые собираются строить атомные станции, и абсолютно недоступен создателям даже маленьких ядерных бомб. Так как разворачивать центр предполагалось именно в Ангарске, я понял, что от рассмотрения этой проблемы не отвертеться, потому что она касается развития нашего региона. К тому же, у Лимнологического института благодаря работам по

палеоклиматологии и геохимии урана в Байкале накопился большой опыт измерения низких концентраций урана и его изотопов в природных средах.

Естественно, что планы создания Международного центра по обогащению урана вызвали большую озабоченность общественности в отношении ядерной безопасности. Про себя я могу сказать, что боюсь тех же вещей, что и другие люди. Хотя информация была достаточно закрытой, я все же знал, чем занимается Ангарский электролизный химический комбинат: производством обогащенного урана. Но какой уран и как он его производит — не знал: это было покрыто очень плотной завесой секретности. И было, конечно, страшно.

Но, как говорят, сон разума рождает чудовищ. Нужно было разбудить разум.

Наши интересы совпали с интересами комбината, которому нужно было объяснить общественности, что он

Комбинат направляет значительные средства на природоохранную деятельность — до 200 млн руб. в год. На охрану воздушного бассейна выделяется ежегодно до 100 млн руб., на защиту водоемов от загрязнения — 80 млн руб., на захоронение и утилизацию отходов — до 20 млн рублей

делает и в какой степени это безопасно для окружающей среды и людей. А нам нужно было знать, как устроена эта «игрушка» — «ангарский будильник».

На этой почве возникла идея проведения экологического аудита Ангарского комбината. В отличие от экологического исследования, в случае аудита в основном мы берем не свои данные, полученные в наших лабораториях, а проверяем на непротиворечивость данные других организаций, самого комбината и проверяющих его агентств. Большой объем документации — десятки томов — нам предоставил комбинат, сняв с нее гриф секретности. Это было очень важно и очень сложно.

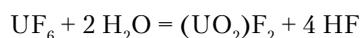
Об итогах нашей работы могу сказать следующее.

Комбинат не наносит никакого значимого ущерба природной среде. Например, наиболее значимым по количеству является выброс аммиака. В год комбинат выбрасывает несколько десятков тонн аммиака, но это в несколько раз меньше, чем выброс аммиака с соседней птицефабрики. Урана же комбинат выбрасывает ничтожное количество (всего около 16 кг в год), потому что имеет эффективную систему улавливания всех его остатков. Мощная угольная ТЭЦ выбрасывает около тонны урана в год. Воду АЭХК не загрязняет, поскольку свежая вода используется исключительно для охлаждения замкнутых контуров оборудования. Также он не выбрасывает существенных количеств тяжелых металлов и других экотоксикантов. Мы пришли к неожиданному для себя выводу: Ангарский электролизный химический комбинат является одним из самых экологически чистых предприятий региона. Этим выводам соответствовали и данные наших контрольных измерений.

Один из твердых отходов АЭХК — гексафторид обедненного по изотопу ^{235}U урана — вызывает большую озабоченность общественности. Этот, так называемый обедненный ГФУ, образуется при обогащении. Он содержится на территории АЭХК на специальном складе. Проблема утилизации обедненного урана в мире пока не решена — он хранится на складах в виде ГФУ во всех странах, получающих обогащенный уран. Обедненный ГФУ рассматривается как потенциальное сырье для энергетики будущего (для реакторов на быстрых нейтронах), а потому находится в госрезерве.

Обедненный ГФУ на АЭХК хранится на открытой площадке в стальных контейнерах. Без доступа влаги это вещество устойчиво и не создает в контейнерах высокого давления (при комнатной температуре избыточное давление не превышает 0,1 атм.). Давление становится равным атмосферному при температуре возгонки вещества, равной $56,5^\circ\text{C}$. Таким образом, загрязнить природную среду хранящийся на АЭХК гексафторид урана может лишь при особых обстоятельствах, приводящих к разгерметизации контейнера.

При взаимодействии с влагой гексафторид урана превращается в нелетучий фторид уранила и летучий фтористый водород:

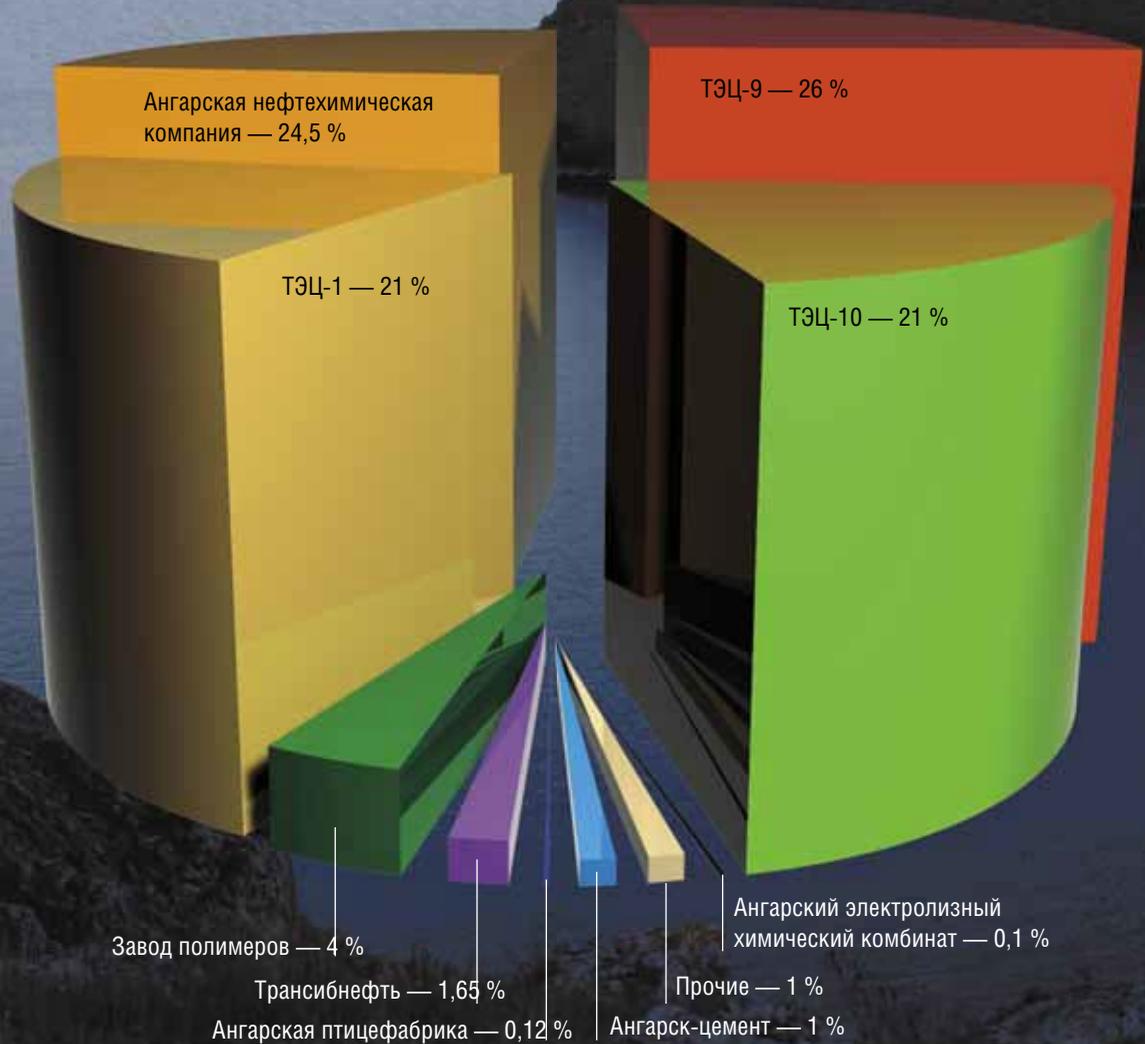


В нештатной ситуации за пределы промплощадки может поступить лишь фтористый водород.

Контейнеры с гексафторидом урана ежедневно осматриваются персоналом. В исключительно редких случаях в местах сварных швов образуются трещины, через которые на поверхность выделяется гексафторид урана. Однако к катастрофическим последствиям это не приводит, так как трещина быстро «затягивается» фторидом уранила. В таких случаях трещину без выгрузки гексафторида урана заваривают на складе электросваркой и контейнер возвращают на производство для выгрузки. На случай полного разрушения одного или нескольких контейнеров разработаны и регулярно, во время учений, отрабатываются меры по ликвидации вредных последствий, которые предотвращают распространение как производных урана, так и фтористого водорода за пределы промплощадки.

По заказу АЭХК разрабатывается и скоро будет внедрена в производство технология превращения гексафторида урана в нелетучий и устойчивый к влаге тетрафторид.

Развитие АЭХК, увеличение его мощности для удовлетворения потребностей ядерной энергетики предусмотрено уже принятыми решениями. Производство обогащенного урана будет расти и в других странах мира. Экологическая экспертиза этих проектов необходима. Весьма позитивным моментом при экспертизе проектов развития АЭХК является готовность предприятия и отрасли в целом вести открытый диалог с общественностью.



Удельный вес предприятий г. Ангарска по выбросам в атмосферу загрязняющих веществ



Датой рождения Ангарского электролизного химического комбината принято считать 21 октября 1957 г.

До середины 80-х гг. комбинат входил в число предприятий, участвовавших в создании ядерного щита нашей Родины. Во второй половине 80-х разделительный завод был переориентирован на производство топлива для атомных электростанций. В 2007 г. АЭХК отметил 50-летний юбилей не только торжественного пуска первой очереди своих мощностей, но и победы ученых-атомщиков, инженеров, конструкторов, да и просто строителей, которых судьба забросила в глухую сибирскую тайгу. Полвека назад они объединили свои силы для решения в кратчайшие сроки грандиозной задачи создания сложнейшего производства в очень непростых условиях

В конце августа 2007 г. редакция журнала «НАУКА из первых рук» побывала на комбинате, еще недавно окутанном пеленой секретности и слухов. Результатом посещения стала публикация, которую мы предлагаем вниманию наших читателей, — рассказ генерального директора Ангарского электролизного химического комбината Виктора Пантелеймоновича Шопена



КОМБИНАТ № 820

В июле 1954 г. в тайге под Ангарском была спилена первая сосна, и началось строительство уникального ядерного комплекса «Почтовый ящик 79». Через три года он начал выдавать продукцию.

Это невероятно высокие темпы внедрения нового для страны производства. Сибирь имела какую-то привлекательную силу для молодежи тех времен, особенно Иркутская область с легендарным уникальным озером Байкал. Это была комсомольско-молодежная стройка. Строились нефтехимкомбинат в Ангарске, Братская ГЭС, Братский лесопромышленный комплекс. Закачивалось строительство Иркутской гидроэлектростанции. Строился Братский алюминиевый завод. И строился комбинат АЭХК. Незаметно, без афиширования. Большое строительство крупных промышленных объектов требовало большого количества электроэнергии, в связи с чем тогда создавался Ангарский каскад электростанций. Для того чтобы запустить досрочно комбинат, была специально построена ТЭЦ-10 мощностью в один триллион сто пятьдесят миллионов (1 Гвт 150 Мвт) ватт, по тем временам одна из самых передовых тепловых электростанций Советского Союза.

ЛЭП-500, уникальная ветка, была протянута из Братска в Ангарск специально для комбината. Строительство шло ударными темпами. Министерство среднего машиностроения называли «государством в государстве». Руководство страны не считало и не жалело денег для создания ядерного «щита» Советского Союза. Сейчас общеизвестно, что США уже после окончания Великой Отечественной войны планировали бомбить сначала 18 наших городов, потом более 50, потом 100. Предварительным полигоном были Хиросима и Нагасаки. Первые атомные бомбы потрясли человечество. Нужно было срочно создать противостояние угрозе ядерной войны. Основной контингент приехавших строить комбинат состоял из ученых и специалистов, молодежи, которая отслужила в армии и на Военно-морском тихоокеанском флоте.

В 1963 г. закончился пуск первого диффузионного разделительного завода, сепарирующего изотопы урана через мембраны. Установленная мощность равнялась полутора тысячам мегаватт — огромная мощность, составлявшая четыре процента от выработки энергии всего Советского Союза!



«6 октября 1955 г. На строительство приехали четыре с половиной тысячи солдат.

Встретили плохо, нет соответствующей одежды, нет бани, в бараках холодно...»

«10 октября 1955 г. ...на строительстве работают 2 400 зеков»

(Из дневника В. Ф. Новокшенова, первого директора комбината).

«1958 г. ...Приступили к строительству химического завода, на площадке был лес и больше ничего. Прорубили просеку, сделали зону, коридор (для лагеря) из колючей проволоки, по нему водили заключенных прямо на территорию комбината. На одной только этой площадке в одну смену было занято до полутора тысяч человек. Трудились десятки тысяч рабочих, в основном заключенные и военнослужащие... На площадке царил здоровый микроклимат, создаваемый самим директором В. Ф. Новокшеновым. Он уважал строителей, которые не жалели ни сил, ни времени, ни здоровья, вкладывали всю душу в будущий комбинат, монтировали уникальное оборудование, какого нигде больше не было»

(Ю. И. Авдеев, бывший начальник АУС-16, заслуженный строитель РФ)

В 2007 г. исполнилось 50 лет, как АЭХК начал выпускать товарную продукцию — обогащенный уран-235. С 1957 г. комбинат работал как оборонное предприятие, позднее перешел только на производство урана для нужд энергетики. В 1997 г. ввели постановление о лицензировании этой деятельности. Лицензия была оформлена сначала Росатомнадзором, а в этом году продлена Ростехнадзором только на производство обогащенного урана не более 5 % по содержанию изотопа 235, для атомной энергетики. Оружейный уран содержит 90 % и выше. Для транспортных установок — 20 %. Но комбинат не производил продукт в таких высоких концентрациях. Самое большое обогащение было 6,5 %. Затем этот продукт передавался на другие предприятия, где обогащается еще выше, в закрытых атомных городах, ЗАТО. В Советском Союзе была создана система для последовательного обогащения урана изотопом 235.

В настоящее время из-за потери сырьевой базы для атомной промышленности в Средней Азии, прежде всего в Казахстане, становится актуальным создание Международного центра по обогащению урана (МЦОУ). Уже второй год обсуждается возможность образования такого центра на базе АЭХК. Выбор пал на комбинат еще и потому, что принято решение перевести предприятие из «особо режимных» в «режимное». Также после вывода из эксплуатации газодиффузионного завода образовались свободные производственные площади. Есть свой учебный центр для подготовки и повышения

Изначально разделение изотопов урана в форме гексафторида урана на заводе производилось методом газовой диффузии. В четырех корпусах общей протяженностью около 4 км стояли энергоемкие и громоздкие диффузионные агрегаты. Работа агрегатов сопровождалась более чем сорокаградусным прогревом воздуха помещения и высоким уровнем шума.

Переход завода в 1991 г. на новую центробежную технологию разделения изотопов урана способствовал улучшению условий труда, сократил в десятки раз потребление электроэнергии, снизил себестоимость обогащенного гексафторида урана, дал огромную экономию расхода воды.

Конец XX и начало XXI вв. для комбината стали периодом значительного творческого и производственного подъема, основой которого послужило внедрение в значительно большем масштабе современных, надежных

и экологически безопасных технологий разделения изотопов урана в сверхскоростных центрифугах нового поколения — уникальных изделиях, которым нет равных в мировой практике



Журнал «НАУКА из первых рук» и сотрудники Лимнологического института в гостях у генерального директора комбината В. П. Шопена



ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АНГАРСКОГО ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Ангарский электролизный химический комбинат — одно из немногих предприятий ядерно-топливного цикла, имеющих в своей структуре весь комплекс переработки гексафторида урана: от его синтеза из оксидного или тетрафторидного сырья — до выпуска гексафторида урана, обогащенного изотопом урана-235. Комплекс базируется в основном на трех заводах комбината: химическом, разделительном и ремонтно-механическом

Производство гексафторида урана — продукта химического завода: первый этап заключается в получении безводного фтористого водорода путем взаимодействия плавикового шлата с серной кислотой ($\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + 2 \text{HF}$); на втором этапе методом электрохимического разложения фтористого водорода в расплаве фтористых солей калия получают элементный фтор ($2 \text{HF} = \text{H}_2 + \text{F}_2$); заключительный этап — производство гексафторида урана в факельных реакторах методом высокотемпературного фторирования тетрафторида или оксидов урана ($\text{U}_3\text{O}_8 + \text{F}_2 = 3 \text{UF}_6 + 4\text{O}_2$)

Основное назначение Ремонтно-механического завода заключается в обеспечении ремонта и модернизации действующего оборудования, в изготовлении нестандартизированного оборудования и запасных частей. На заводе производятся соответствующие международным стандартам контейнеры для транспортировки и хранения гексафторида урана

Приборное производство комбината разрабатывает и выпускает дозиметры, детекторы, автоматизированные комплексы индивидуально-дозиметрического контроля персонала атомных станций, предприятий ядерно-топливного цикла, радиохимических производств, а также населения. Перспективной задачей является создание комплекса АКИДК-401, предназначенного для измерения доз фотонного и бета-излучения в коже и хрусталике глаза



Химический завод

Ремонтно-механический завод

Приборное производство

Административное здание



Для разделения изотопов гексафторид урана переводится на нагревание в газообразное состояние и поступает в каскад газовых центрифуг. После разделения изотопов на центрифугах часть гексафторида урана — вещество, обедненное по изотопу U-235, — поступает на хранение, а другая часть, обогащенная U-235, вывозится на предприятия, производящие ядерное топливо

Полученный газообразный гексафторид урана поступает на участок десублимации, где в процессе охлаждения происходит его кристаллизация и загрузка в специальные транспортно-упаковочные контейнеры



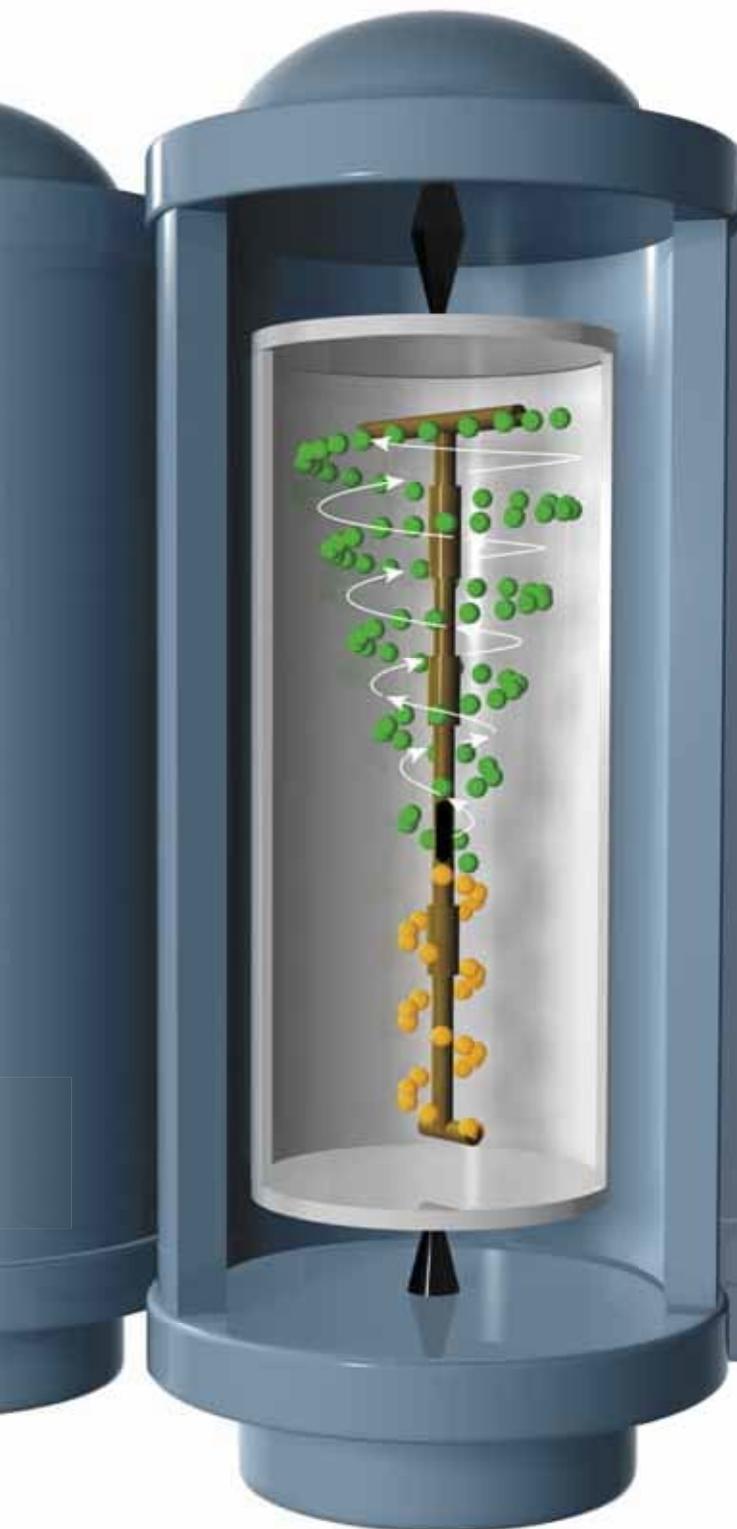
Разделительный завод

Гексафторид урана реализуется в атомной энергетике в качестве сырья для изготовления тепловыделяющих элементов ядерных энергетических установок — так называемых ТВЭЛов. Уран Ангарского электролизного химического комбината питает энергией электрические сети во многих странах мира, несет свет и тепло в дома и квартиры

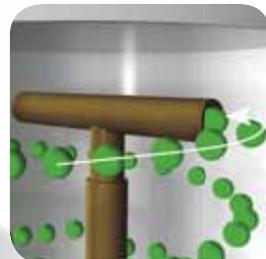
Центральная лаборатория



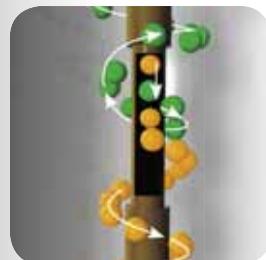
Центральная лаборатория комбината обеспечивает все потребности производства в проведении химических и физических анализов. Новейшие приборы и оборудование мирового уровня позволяют определять химический и изотопный составы веществ в любом агрегатном состоянии с высочайшей точностью и низкими пределами обнаружения. Система менеджмента качества АЭХК сертифицирована на соответствие международному стандарту ISO-9001



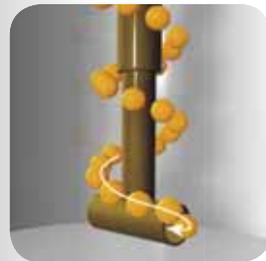
Отборник более тяжелых молекул урана-238



Изотопы газообразных гексафторидов урана-235 и урана-238 поступают в газовую камеру по трубопроводу



Отборник более легких молекул урана-235



Опираясь через тонкую иглу на корундовый подпятник, центрифуга вращается в магнитном поле со скоростью полторы тысячи оборотов в секунду



Схема работы центрифуги для разделения изотопов урана с образованием обедненного и обогащенного газовых потоков гексафторида урана. Внутри ротора машины в газовой камере создается поле центробежных сил, в сотни тысяч раз превышающее поле тяготения Земли. Более легкие молекулы урана-235 концентрируются вблизи оси ротора, а тяжелые молекулы урана-238 — на периферии. Этот радиальный эффект разделения в центрифуге усиливается осевым эффектом, который происходит в результате противоточного движения слоев газа вблизи оси ротора и на периферии



Виктор Пантелеймонович Шопен родился в г. Днепродзержинске Днепропетровской области, окончил МИФИ. С 11 мая 1961 г. — инженер-технолог завода «Т». Работал начальником производства, главным диспетчером завода, начальником цеха, заместителем главного инженера завода. С 9 сентября 1985 г. — главный инженер комбината, зам. директора комбината. С 14 декабря 1994 г. — генеральный директор АЭХК

квалификации специалистов завода и обучения иностранных специалистов. С предложением об организации Международного центра выступила Россия. Центр должен контролировать возникающие в мире опасные ситуации, например такие, как развитие технологий по обогащению урана в Иране, поскольку это технологии двойного использования: их можно использовать как для нужд атомной энергетики, так и для получения оружейного урана.

Создание такого центра могло бы позволить учредителям и членам развивать свою собственную атомную энергетику без доступа к технологии обогащения урана, что исключало бы возможность создания ядерного оружия в странах партнеров, которые пожелали развивать атомную энергетику.

В настоящее время подписано межправительственное соглашение между Россией и Казахстаном о сотрудничестве в области создания Международного центра по обогащению урана. В качестве потенциальных партнеров рассматриваются также Украина, Бельгия, Армения и, возможно, Финляндия.

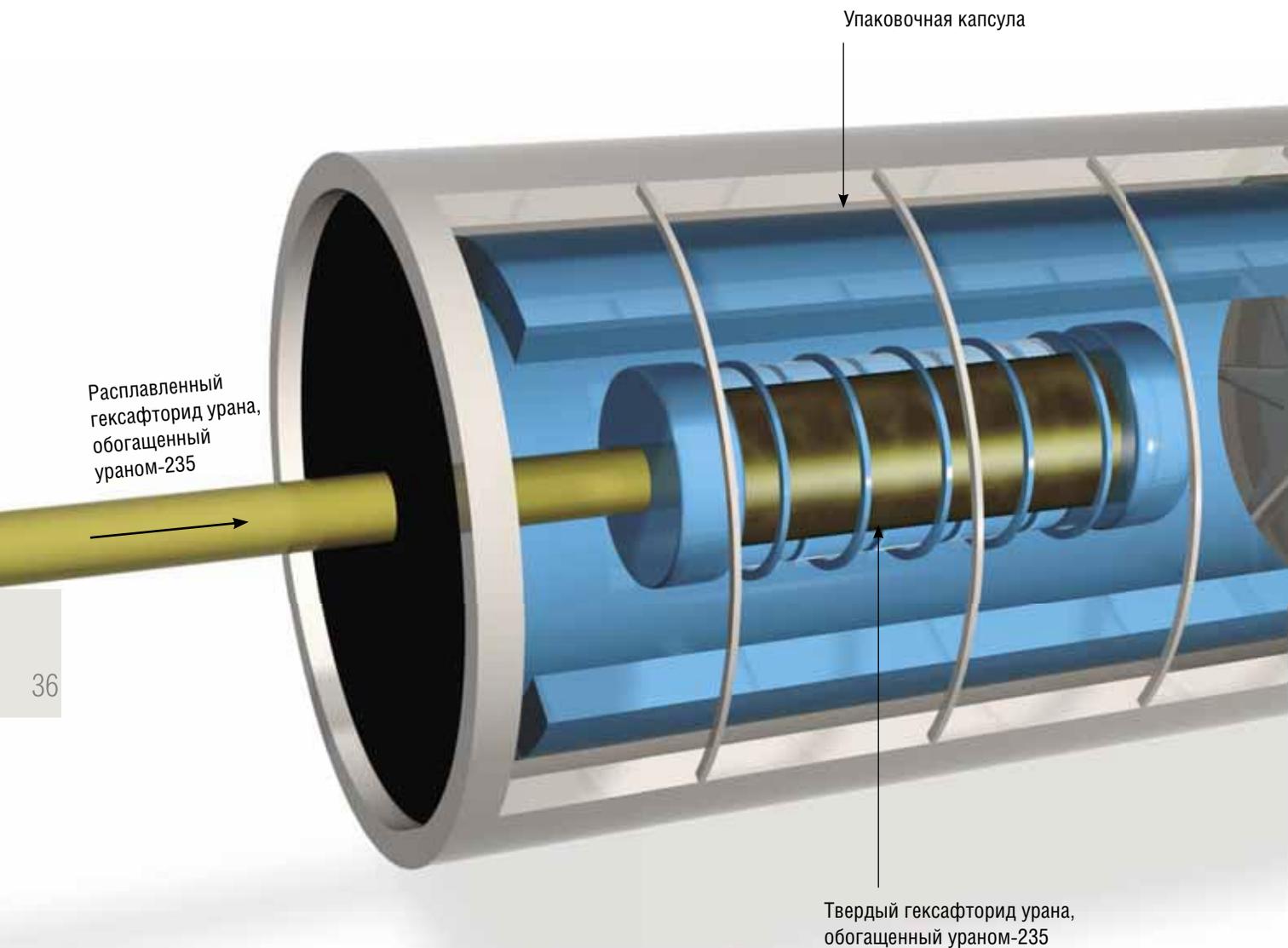
В случае принятия партнером решения о строительстве атомной электростанции необходимо сделать промплощадку, пройти экспертизу. Ориентировочно, до момента пуска проходит как минимум 5 лет. Одним из условий успеха предприятия являются гарантированные поставки топлива. Необходимо договориться о том, каким образом будут исполняться условия контроля со стороны Международного атомного агентства, и о том, как будут обеспечиваться гарантии того, что этот уран пойдет именно на мирное использование. Вполне реально контролировать количество ввезенного, переработанного и вывезенного сырья, не вникая в технологию самого процесса. К настоящему времени семь инспекторов ознакомлены с комбинатом: конечно, в пределах системы допусков иностранных специалистов. Процедура оформления допуска занимает около двух месяцев.

Мощности России по обогащению урана в настоящее время составляют 40 % от мировых. Они полностью закрывают свои внутренние потребности в топливе для атомной энергетики и позволяют оказывать услуги по



Цех для разлива и упаковки готовой продукции. Наполнение контейнеров товарным гексафторидом урана-235 производится в его жидком агрегатном состоянии в специальных установках под названием «челнок» с последующей его кристаллизацией и упаковкой для транспортировки

Схема капсулы для проведения окончательной процедуры отверждения гексафторида урана, обогащенного ураном-235, и подготовки его к отправке

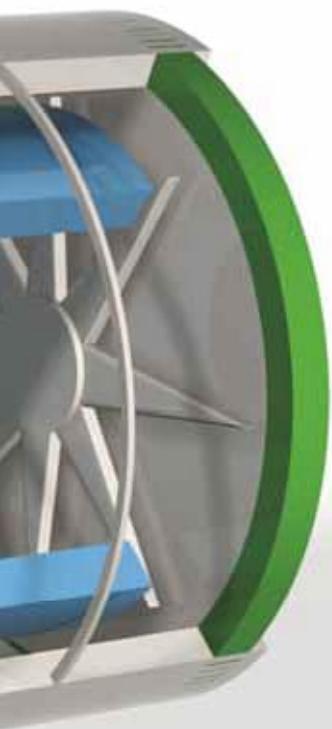


Расплавленный гексафторид урана, обогащенный ураном-235

Упаковочная капсула

Твердый гексафторид урана, обогащенный ураном-235

Десублиматоры, служащие для кристаллизации газообразного гексафторида урана



Для испарения и подачи газообразного гексафторида урана в разделительный каскад, а также для последующей конденсации потоков обогащенного и обедненного продуктов применяются специальные конденсационно-испарительные установки — автоклавы. Процессы испарения и конденсации в основном протекают под давлением ниже атмосферного, что предъявляет высокие требования к обеспечению герметичности оборудования и коммуникаций. Наполнение контейнеров товарным гексафторидом урана производится в его жидком агрегатном состоянии в специальных установках под названием «челнок». В емкости, размещенной в автоклаве, десублимированный твердофазный гексафторид урана нагревается под давлением и плавится. Затем за счет перепада давления он переливается в транспортный контейнер. Здесь с помощью воздушного охлаждения происходит отверждение гексафторида урана. После этого производится его подготовка к отправке



Взвешивание упакованного для транспортировки контейнера с продуктом



Александр Александрович Козлов (заместитель технического директора АЭХК) и Виктор Пантелеймонович Шопен на встрече с редакцией журнала «НАУКА из первых рук»

Мы с Александром Александровичем приехали на строительство комбината примерно в один год — 1960-й. Я приехал работать над дипломом, а Александр Александрович — как молодой специалист. Он из Уральского политехнического института, а я из МИФИ. Руководителем основной кафедры нашего факультета был академик Михаил Дмитриевич Миллионщиков. Он был председателем Межведомственной комиссии по приемке всевозможного оборудования, в том числе и нашего разделительного завода. Как-то у меня с ним разговор был, куда ехать работать. Я сам с родины застоя, из Днепродзержинска. Было три возможности: вернуться домой, на Metallургический

завод им. Дзержинского, остаться в Москве, в Курчатовском институте (ЛИПАН), или ехать в Сибирь. Можно было ехать в Красноярск, Ангарск или Красноярск-26. Он мне сказал: «Поезжай в Ангарск: предприятие строится, перспективы серьезные».

За прошедшие с тех пор 50 лет мы славно поработали. Несмотря на то что живем в лесу, издали первую книгу «50 лет в строю» и сделали фильм «Полвека в строю». Про людей, про наше производство. Посвятили книгу подвигам людей, потому что построить такой комбинат за три года — это было действительно подвигом. Строили его люди, безоглядно выполнявшие поставленную перед ними Отчеством задачу (В.П. Шопен)

Химический завод комбината обладает одним из самых мощных в мире производств фтора, часть которого используется для получения ряда ценных фторсодержащих продуктов. Эти вещества применяются в качестве катализаторов в нефтехимии, являются основой для производства нового поколения антибиотиков, а также многочисленного ряда лекарств, гербицидов и красителей



Редакция благодарит за помощь в подготовке материала к.г.-м.н. А.Н. Сутурина, В.В. Минаева (ЛИН СО РАН), В.А. Короткоручко. Фото предоставлены АЭХК (г. Ангарск)

обогащению и поставкам обогащенного урана другим странам. В первую очередь, для тех предприятий, которые были построены в советское время в различных странах и в ближнем зарубежье. Благодаря эффективной технологии переработки цены у нас ниже, чем у конкурентов. Комбинат со своей продукцией находится на международном рынке более 30 лет.

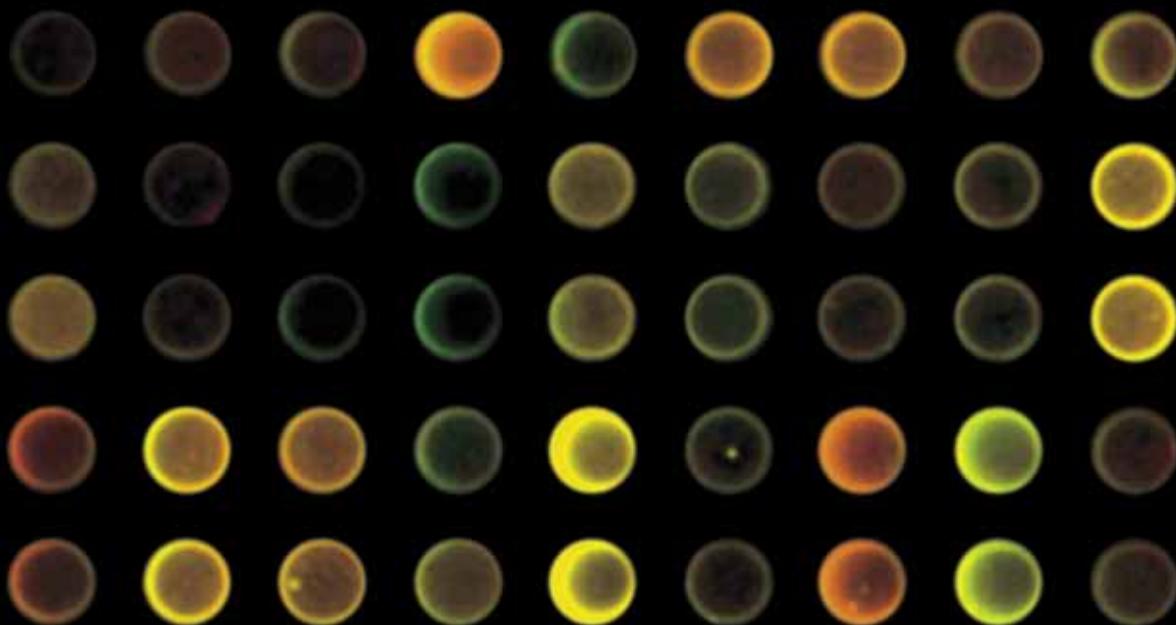
Двадцать лет назад Россия обгоняла США на 10–15 лет. Но наука не стоит на месте: например, фирма «ЮРЕНКО», объединяющая три государства — Голландию, Германию и Великобританию, — тоже освоила промышленное использование центробежного метода разделения изотопов. По тем данным, которые имеются, они не уступают нашим образцам. Все время идет поиск; сейчас в России уже эксплуатируются машины восьмого поколения; с целью увеличения производи-

тельности и уменьшения затрат энергии институтами, конструкторскими бюро Росатома разрабатываются девятое и десятое поколения.

Кстати, лицензии оформляются не только на виды деятельности, но и на руководителей производства. Я получал лицензию на управление предприятием ядерно-топливного цикла еще в 1985 г., когда работал главным инженером. Руководитель должен пройти аттестацию на право руководить. Она выдается на пять лет, и раз в пять лет нужно сдавать экзамен. В будущем году, в марте, ее срок заканчивается. Аттестацию проводит руководство Ростехнадзора. Мы готовимся к этому. Подход к лицензированию руководства производств такого рода очень серьезный.

БИОЧИПЫ:

ДИАГНОЗ — ДЕЛО ТЕХНИКИ!



Что такое биочипы? Этим модным словом сегодня называют миниатюрные приборы для определения специфических взаимодействий биологических макромолекул. Зондами в таких чипах могут служить нуклеиновые и рибонуклеиновые кислоты (в том числе фрагменты геномной ДНК), белки и другие молекулы.

За короткое время биологические микрочипы выделились в самостоятельную область анализа, имеющую массу приложений: от практических — в медицине, фармакологии, экологии, судебно-медицинской экспертизе до фундаментальных — в области молекулярной биологии и молекулярной эволюции



СИНЯКОВ Александр Николаевич — кандидат химических наук, заведующий лабораторией медицинской химии Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск).
Область научных интересов — химический синтез генов, конструирование сиквенспецифичных соединений, современные форматы медицинской диагностики.
В 1985 г. за синтез искусственных генов награжден медалью «За трудовую доблесть»

Точнее всего сущность биочипов определяет их английское название — *microarrays*, — что означает «организованное размещение молекул на специальном носителе-платформе». В качестве платформы чаще всего используют пластинку из стекла или пластика (а иногда и из других материалов, например из кремния). В этом смысле чипы биологические близки к чипам электронным, которые изготавливаются на кремниевых пластинах.

Поскольку величина микрочипа, как правило, мала, — в его английском названии присутствует элемент *micro*. Тем не менее, несмотря на размер биочипа, на его площади можно разместить огромное количество различных молекул-зондов. После взаимодействия чипа с тестируемыми молекулами, информация, содержащаяся на этой площади, считывается с помощью специального устройства.

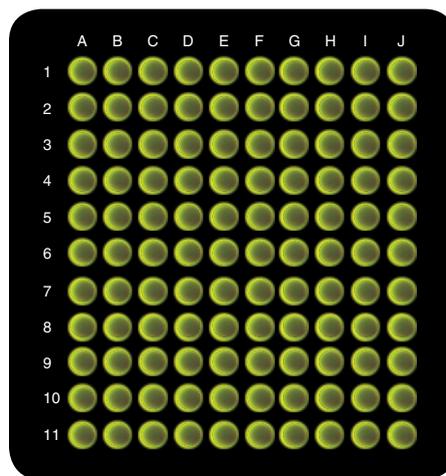
Микрочиповая диагностика основана на установлении факта так называемого *лиганд-рецепторного взаимодействия*. Один из взаимодействующих партнеров — лиганд, или рецептор, — иммобилизуется на небольшой, но строго определенной, поверхности микрочипа, которую называют *spot*. (Поверхность микрочипа в ряде случаев может быть структурирована, например, микрочаечками (нанопланшеты) или микроэлектродами.)

Каждый spot состоит из идентичных молекул. При анализе исследуемый образец наносится на микрочип, а затем фиксируется факт его взаимодействия с молекулами, содержащимися в определенных спотах микрочипа. Результатом этого взаимодействия является характерная модель (*паттерн*) взаимодействия образца с микрочипом.

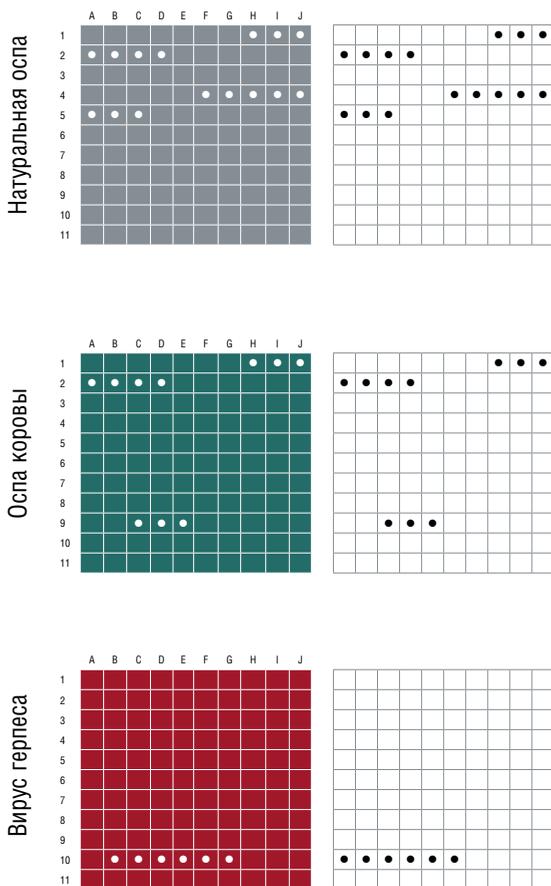
Нередко для фиксирования факта взаимодействия рецептора с лигандом используется флуоресценция. Для этого еще до инкубации с микрочипом анализируемый образец метится флуоресцентной меткой. После инкубации микрочип сканируется лазерным сканером,

чтобы можно было получить картину распределения интенсивности флуоресценции на его поверхности. Подобным образом выявляются споты, молекулы-зонды которых вступили в реакцию с молекулами исследуемого образца.

Если условия молекулярной комплементарности, необходимые для возникновения соответствий между иммобилизованными молекулярными зондами и мечеными анализируемыми молекулами в растворе, являются подходящими, то образующиеся комплексы будут наиболее термодинамически устойчивы. В результате при определенных температурах этих комплексов будет больше, чем тех, которые образованы с нарушением условий комплементарности, и им будет отвечать более сильный сигнал флуоресценции.



Структура микрочипа для определения ортопоксвирусов и герпесвирусов: споты 1A—10A — зонды для ортопоксвирусов; споты 10B—10F — зонды для вирусов герпеса 1 типа; споты 10H—10J и 11A—11C — зонды для вирусов герпеса 2 типа; споты 11D—11J — для вирусов герпеса 3 типа



Картины гибридизации на микрочипе: теоретическая (слева) и экспериментальная (справа) — ампликонов некоторых генов ортопоксвирусов и одного из генов вируса герпеса 3 типа

Изучаем профили... экспрессии

Наиболее разработанной на сегодняшний день можно назвать технологию *олигонуклеотидных** биочипов, массовое применение среди которых получили так называемые *экспрессионные чипы*.

Чтобы понять принцип их работы, обратимся к рассмотрению регуляции жизнедеятельности наших клеток. Процессами внутреннего метаболизма клеток, их делением и дифференцировкой управляет сложная сеть молекулярных взаимодействий, которая и определяет уровень *экспрессии* (функционирования) различных генов. Показателем последней служит концентрация соответствующей матричной РНК (мРНК), которая синтезируется на ДНК — носителе наследственной

Изготовить биологические чипы можно различными способами. Молекулы-зонды, присоединенные к платформе микрочипа, можно либо непосредственно синтезировать на самом микрочипе, стартуя с первого звена, ковалентно присоединенного к поверхности, либо синтезировать вне микрочипа, а затем уже связать их с подложкой-платформой. Первый способ применяется при создании химических «библиотек», в которых в качестве зондов используются короткие олигонуклеотиды или пептиды; второй — для иммобилизации протяженных полинуклеотидов или белков, а также других крупных рецепторных молекул.

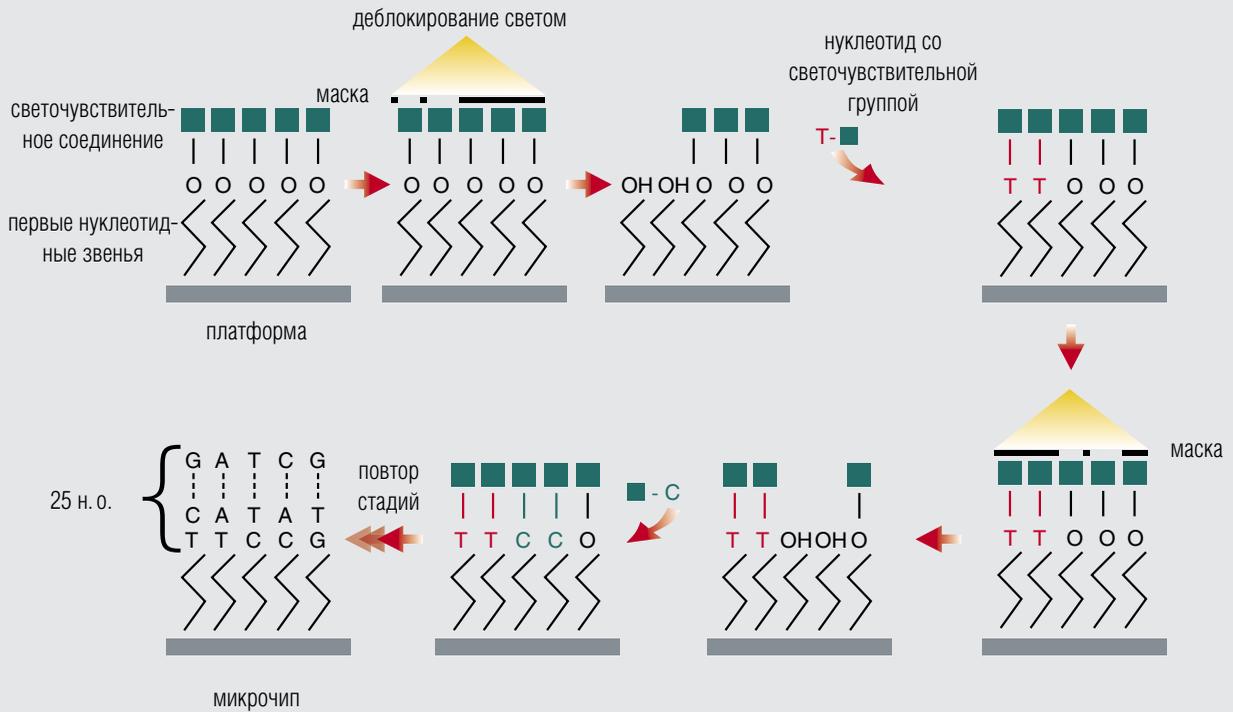
Одна из крупнейших фирм по производству биочипов — американская компания *Affymetrix* — применяет для производства биочипов способ конструирования, созданный для электронных чипов. Чипы *Affymetrix* готовятся на стеклянной пластинке-платформе методом фотолитографии с использованием специальных микромасок. Применение хорошо отработанных методов электронной промышленности позволило добиться впечатляющих результатов: на одном таком чипе могут располагаться миллионы различных спотов (участков, содержащих одинаковые молекулы-зонды) размером всего лишь в несколько микрон

информации. Динамика изменения концентрации определенной мРНК указывает на включение или выключение конкретного гена, а значительные отклонения этого показателя от нормы могут свидетельствовать о наличии различных заболеваний.

Существующее в профилях генной экспрессии разнообразие находится в фокусе внимания ученых по причине его биологического и клинического значения. И в этом смысле возможности технологии микрочипов оказались очень полезными при исследовании такого сложного заболевания, как рак. Эта технология позволяет одновременно отслеживать экспрессию десятков тысяч генов, создавая, таким образом, своеобразный молекулярный «портрет» клетки. Уже сегодня, изучая профили генной экспрессии в клетке, можно ставить диагноз, определять группу риска и давать прогноз развития многих видов раковых заболеваний.

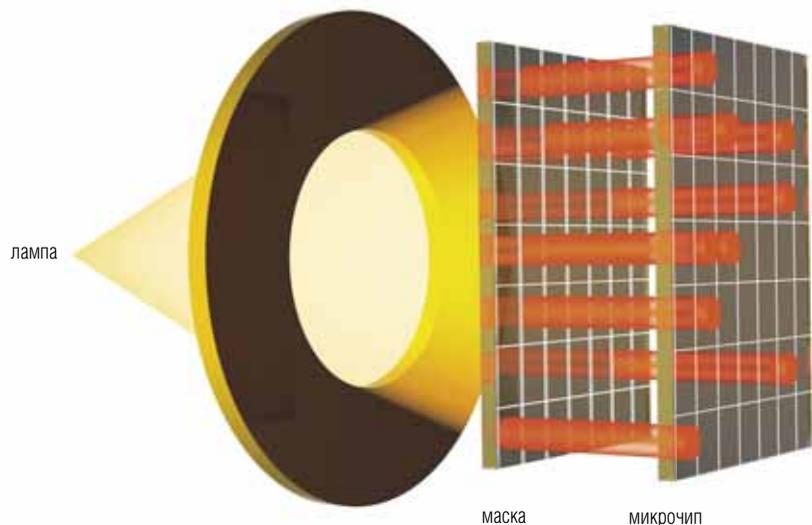
В настоящее время для постановки диагноза больным раком требуется проведение совместной экспертизы специалистов-практиков: онкологов, патологов и цитогенетиков. Однако окончательные выводы могут значительно варьироваться в зависимости от таких

* Олигонуклеотиды — относительно короткие (длиной несколько десятков нуклеотидов) фрагменты ДНК.

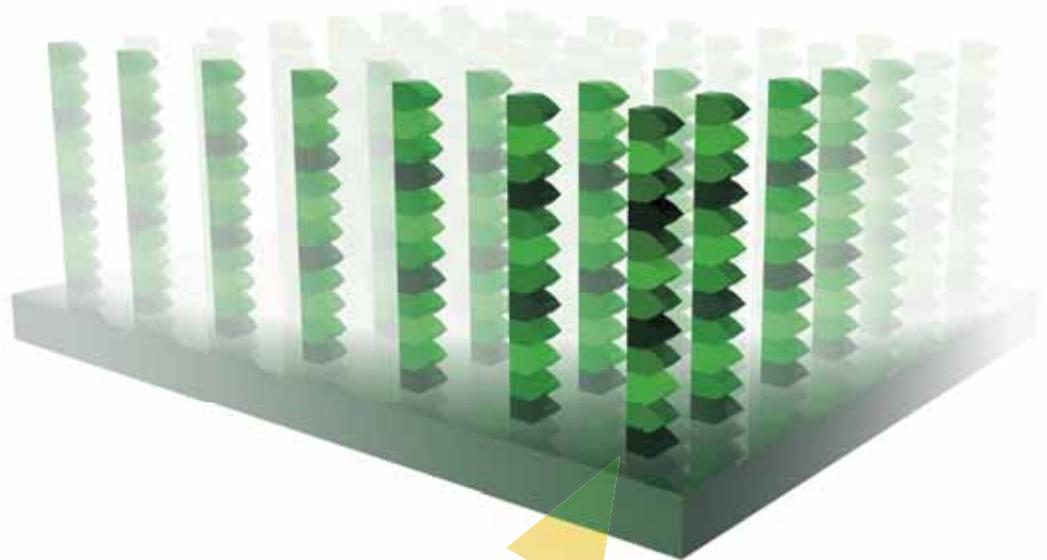


Последовательность стадий синтеза нуклеотидных зондов биочипов с использованием литографической маски на примере ДНК-чипа фирмы *Affymetrix*

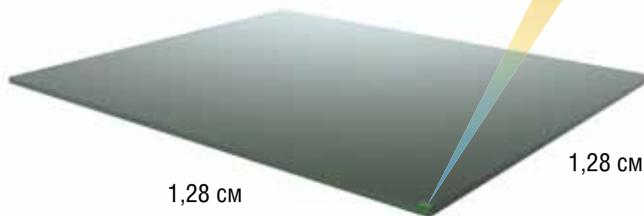
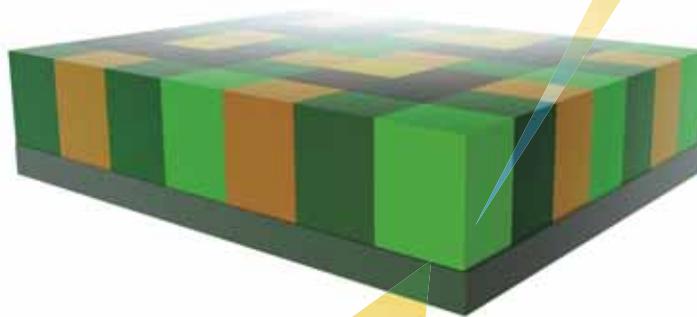
Исходная стеклянная платформа покрыта слоем светочувствительного соединения, предотвращающего ее взаимодействие с первым нуклеотидным звеном, ковалентно связанным с платформой. С помощью литографической маски свет направляется на те участки микрочипа, с которыми должен связываться нуклеотид. После разрушения защитного слоя микрочип обрабатывают реакционноспособным производным нуклеотида, который связывается с поверхностью микрочипа в заранее запланированных местах. Нуклеотид также несет в своем составе светочувствительную группу, что позволяет повторять цикл наращивания нуклеотидной цепи. В результате получают микрочип, содержащий зонды определенной длины



Принцип действия литографической маски



Миллионы олигонуклеотидов
в каждом споте

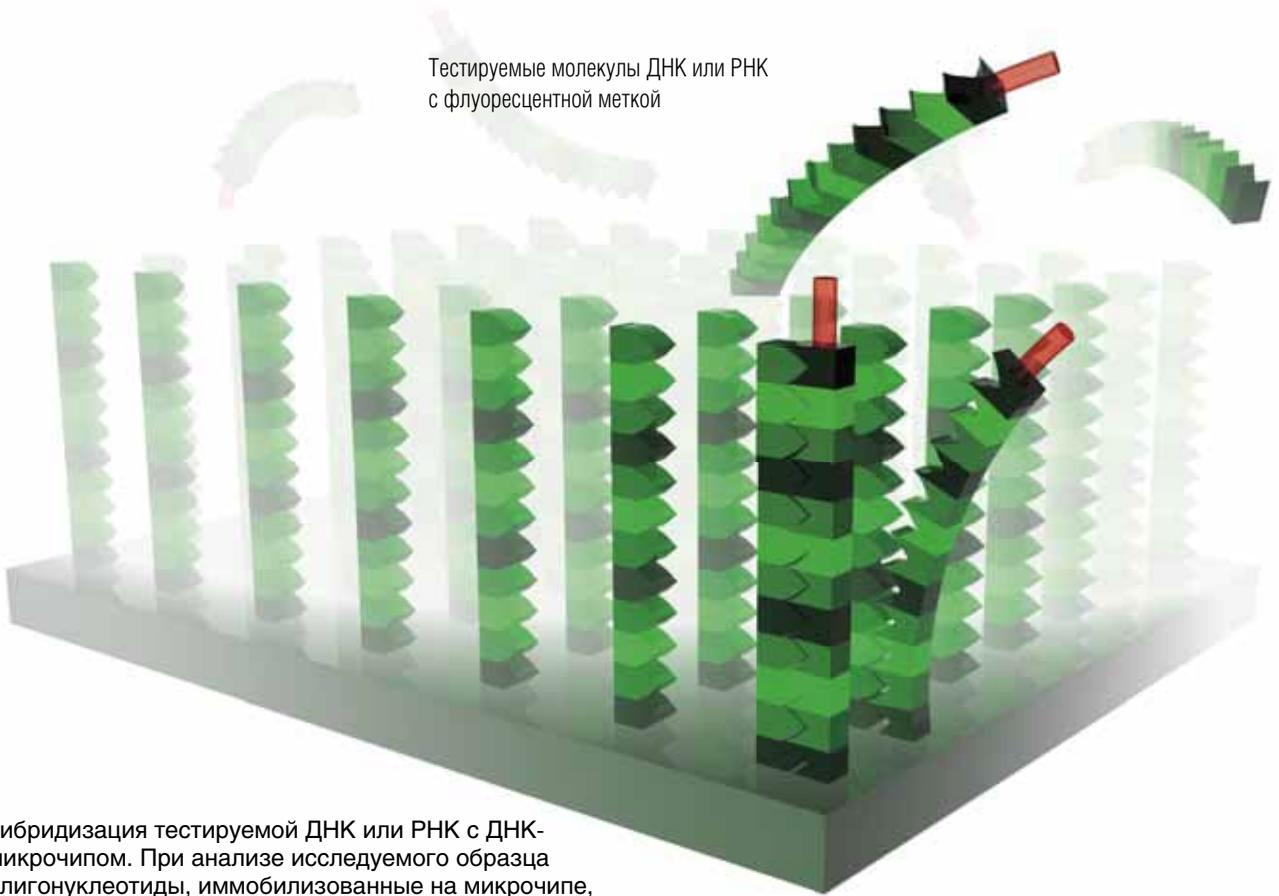


субъективных факторов, как уровень квалификации экспертов и примененные ими методологические подходы. Используя же микрочипы, можно и вовсе отказаться от услуг многих специалистов, намного повысив точность постановки диагноза и определения прогноза.

В существующих экспрессионных биочипах используется иммобилизованная ДНК двух типов: во-первых, относительно короткие синтетические фрагменты ДНК длиной 20–60 нуклеотидов, которые соответствуют определенным участкам конкретного гена (при этом каждый ген характеризуется 20–40 спотами с различными зондами); во-вторых, крупные фрагменты кодирующей ДНК длиной 100–600 нуклеотидов, получаемые ферментативным способом (так называемые *кДНК-микрочипы*).

Микрочип GeneChipR array (производства фирмы *Affymetrix*) содержит 6,5 млн точек (спотов) на площади чуть более 1,6 см², при этом каждый спот состоит из нескольких миллионов одинаковых олигонуклеотидов длиной в 25 звеньев

Тестируемые молекулы ДНК или РНК
с флуоресцентной меткой



Гибридизация тестируемой ДНК или РНК с ДНК-микрочипом. При анализе исследуемого образца олигонуклеотиды, иммобилизованные на микрочипе, комплементарно связываются с тестируемыми ДНК или РНК. Для фиксирования факта взаимодействия анализируемый образец до инкубации метится флуоресцентной меткой

Процедура подготовки образца для анализа на микрочипах включает в себя выделение суммарной РНК, на основе которой посредством реакции обратной транскрипции синтезируют цепи кодирующей ДНК. Из каждой молекулы такой кДНК с помощью фермента *T7 РНК-полимеразы* можно получить множество копий РНК. Как правило, образующиеся молекулы РНК при этом одновременно метятся флуоресцентной меткой (для этого при синтезе используются меченые нуклеотиды).

В работе с олигонуклеотидными микрочипами для мечения образца получаемой РНК часто употребляют флуоресцентную метку одного типа, а уровни экспрессии генов определяют, сравнивая получаемые флуоресцентные сигналы с сигналами внутренних контрольных точек микрочипа.

При работе же с микрочипами на основе кДНК, как правило, необходимы две метки: контрольный образец (взятый из нормальных клеток) метят одним флуоресцентным красителем, исследуемый образец (взятый, например, из раковой опухоли) — другим; далее их смешивают и гибридизуют с одним микрочипом. По

соотношению сигналов от двух разных меток в каждой ячейке микрочипа судят о повышении или понижении уровня экспрессии данного гена при заболевании.

Болезнь, эволюция, преступление...

В каждом эксперименте с биочипами можно получить данные относительно уровня экспрессии десятков и сотен тысяч генов. Для обработки такого объема информации используется довольно сложный математический аппарат, и в первую очередь кластерный анализ.

По результатам подобного анализа выявляются группы генов, изменение в уровне экспрессии которых является свидетельством наличия конкретного заболевания. В дальнейшем для диагностики пациентов применяется анализ деятельности именно этих генов. При этом может выясниться, что болезнь, ранее диагностированная как определенный вид рака, на самом деле представляет собой сразу несколько одновременно протекающих заболеваний.

Используя экспрессионные микрочипы, можно не только изучать молекулярные механизмы различных заболеваний, но и проверять воздействие лекарственных соединений на человека (причем показания и противопоказания по применению препаратов можно определить для каждого индивидуума отдельно), а также оценивать отклик организма на влияние самых разнообразных внешних факторов.

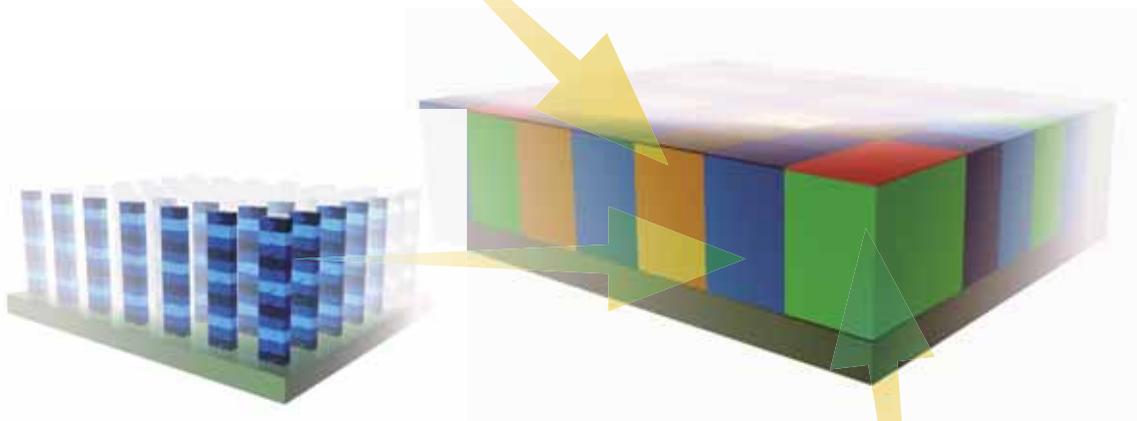
Кроме того, олигонуклеотидные микрочипы находят широкое применение при анализе *геномного полимор-*

физма (разнообразия). Известно, что геномные последовательности ДНК для конкретных живых организмов, как правило, несколько отличаются от тех, которые приведены в базах данных. Эти различия обусловлены, прежде всего, точечными мутациями, вставками и делециями (потерей) нуклеотидов и т. п. Подобные различия в носителе наследственной информации приводят, в свою очередь, к внутривидовому различию организмов, а их накопление — к расхождению видов. Таким образом, изучение геномного полиморфизма с помощью



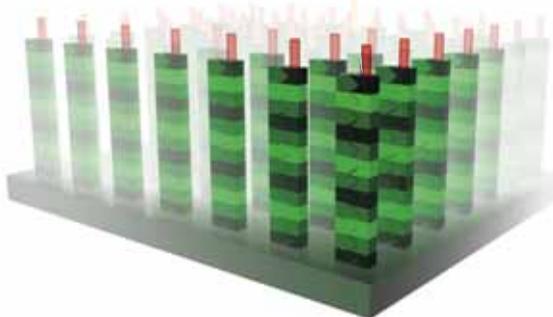
Негибридизованная ДНК спота

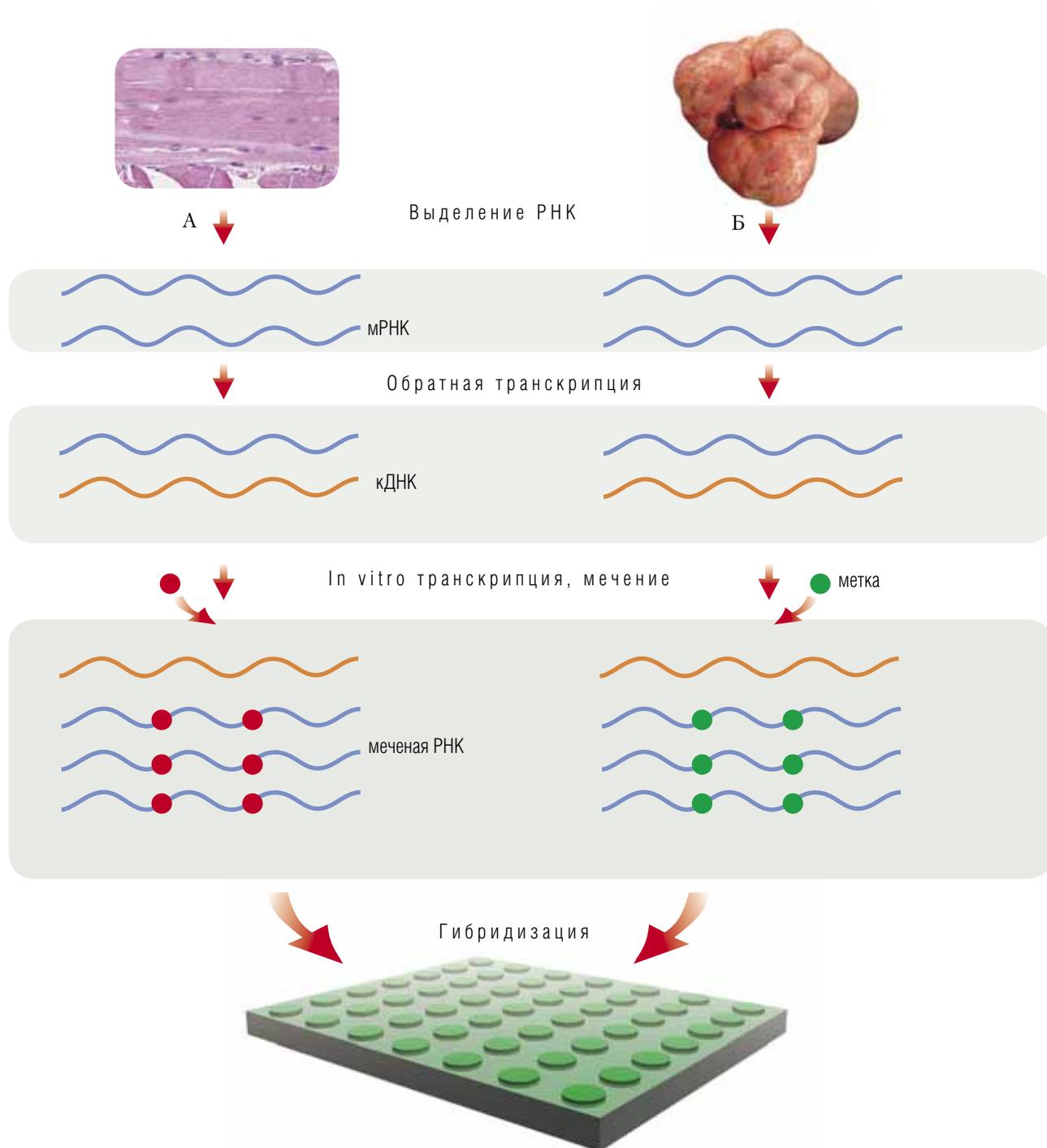
Схема регистрации флуоресцентного паттерна тестируемого образца. Красным цветом показаны области флуоресценции поверхности микрочипа



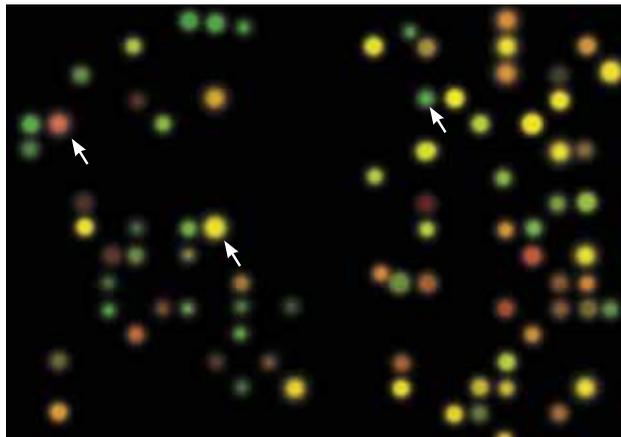
Гибридизованная ДНК спота

После инкубации микрочип сканируется лазерным сканером для получения картины распределения интенсивности флуоресценции на микрочипе: таким образом определяются споты, взаимодействующие с анализируемым образцом. Комплексы, точно удовлетворяющие условиям молекулярной комплементарности, будут давать более сильный сигнал флуоресценции





С помощью экспрессионных микрочипов можно провести анализ нормальной (А) и опухолевой ткани (Б): определить изменение уровня экспрессии (деятельности) того или иного гена в опухолевой клетке относительно нормальной. Сначала параллельно проводят выделение РНК, затем следуют этапы обратной транскрипции (синтез кодирующей ДНК) и транскрипции *in vitro* (нарабатывание в пробирке множества копий РНК с каждой молекулы кДНК) с одновременным включением разной флуоресцентной метки. После гибридизации полученной РНК с микрочипом в каждом споте измеряют флуоресцентные сигналы от обоих красителей и определяют их соотношение



Фрагмент экспрессионного микрочипа, на котором указаны споты с различной экспрессией гена в контрольном и в анализируемом образцах (в качестве меток для образцов были использованы разные флуоресцентные красители).

По соотношению сигналов от двух разных меток в каждой ячейке микрочипа судят о повышении или понижении уровня экспрессии данного гена. Обычно в качестве флуоресцентных меток используются красители СуЗ (зеленый) и Су5 (красный). Если экспрессия генов в контрольном и в тестируемом образцах одинакова, то красный и зеленый цвета, смешиваясь, дают желтый. В спотах, окрашенных в красный цвет, экспрессия генов понижена по сравнению с контрольным образцом, в спотах, окрашенных в зеленый цвет, — повышена

микрочипов может способствовать раскрытию одного из важнейших механизмов молекулярной эволюции.

Еще одна область приложения технологии биочипов — изучение мутаций в геноме патогенных агентов, позволяющее точно определить вид бактерий или вирусов. Для этого протяженные фрагменты геномной ДНК или РНК патогена гибридизируют с микрочипом, содержащим специальные олигонуклеотидные зонды.

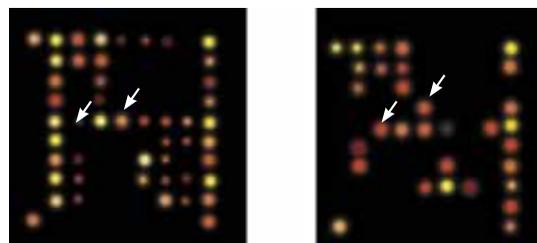
Например, наша лаборатория совместно с Лабораторией разработки методов (Вашингтон) предложила микрочиповый метод обнаружения и классификации опасных для человека ортопоксвирусов. К наиболее опасным для человека ортопоксвирусам принадлежат вирусы натуральной оспы и оспы обезьян. Менее опасны для человека вирусы оспы коров, верблюдов и осповакцины, но и они также способны вызывать заболевания. Несмотря на то что вирус натуральной оспы был искоренен в 70-е гг. прошлого столетия, существует вероятность его нового появления в человеческой популяции: источником возбудителя инфекционных заболеваний могут быть либо вскрытые могильники, либо биотеррористы, которые распространяют его це-

ленаправленно. Поскольку большая часть населения планеты сейчас не имеет иммунитета к этому вирусу, заражение натуральной оспой привело бы к катастрофическим последствиям.

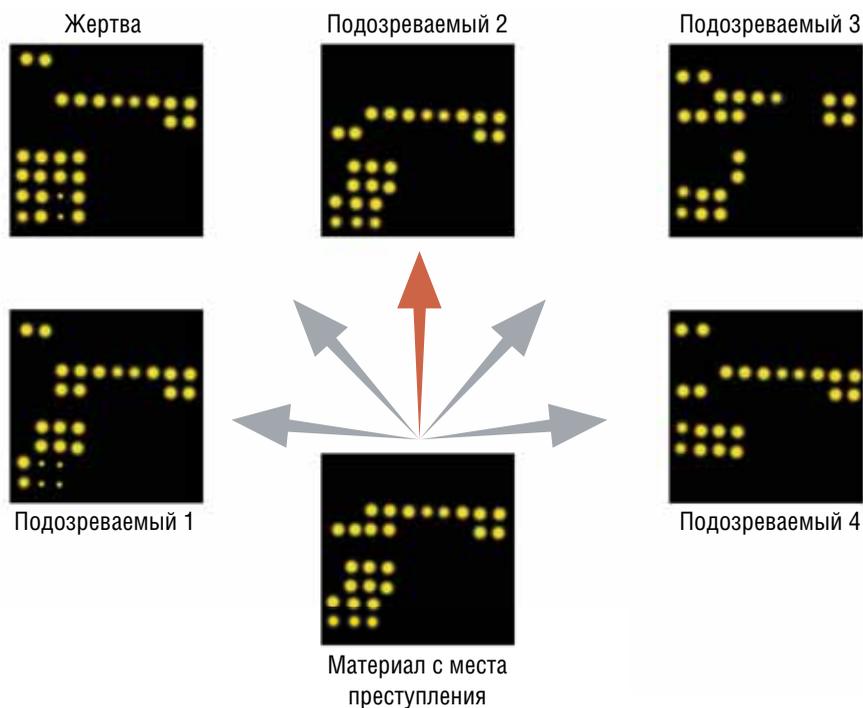
Разработанный нами микрочип способен диагностировать опасные для человека виды ортопоксвирусов. Кроме того, клиническая картина больных ортопоксвирусами очень сходна с клинической картиной больных, пораженных герпесвирусами 1, 2 и 3 типов. Наш микрочип способен отличить тех, кто заражен ортопоксвирусами, от тех, кто поражен вирусами герпеса. Это очень важно, поскольку заболевания, о которых идет речь, несмотря на внешнее сходство клинических проявлений требуют разного лечения.

В Глазном центре Келлога при Мичиганском университете был создан микрочип для диагностики пигментного ретинита — сложного заболевания глаз, которое приводит к слепоте. А с помощью микрочипа arRP-1, разработанного в том же центре, можно выявить 180 мутаций в нуклеотидных последовательностях 11-ти генов, вызывающих дегенерацию сетчатки при этом заболевании.

Отдельный интерес представляют собой исследования мутаций в геномах безвредных бактерий, способствующих появлению устойчивости к антибиотикам. Так, по данным ВОЗ, в настоящее время в России ежегодно туберкулезом заболевает примерно 100 тыс. человек (а всего в мире от этой болезни умирает около 3 млн человек в год), при этом особо опасным представляется быстрое распространение среди населения форм туберкулеза, устойчивых к лечению стандартными антибиотиками типа рифампицина.



Микрочип для диагностики форм туберкулеза, устойчивых к стандартным антибиотикам. Слева — результаты тестирования чувствительной к антибиотикам формы туберкулеза; справа — результаты тестирования формы туберкулеза, устойчивой к антибиотикам рифампицину и изониазиду



Технология биочипов может быть использована в судебной практике. Например, с помощью ДНК-микрочипа возможно установить принадлежность биологического материала (крови, слюны, кожи, волос и т. д.), обнаруженного на месте преступления

Вот почему так важно провести раннюю диагностику туберкулеза и выявить устойчивые к антибиотикам формы туберкулеза. С этой целью в Институте молекулярной биологии им. Энгельгардта были созданы диагностические варианты биочипов, которые позволяют осуществлять экспресс-диагностику туберкулеза и вместе с тем обнаруживать его лекарственно-устойчивые формы. Время анализа при этом существенно понижается: с 60 (стандартный анализ) до 1 дня. Это позволяет оперативно назначать резервные терапевтические средства тем больным (а их число среди больных превышает 10%), у которых обнаружены устойчивые к лекарствам формы туберкулеза.

Биочипы могут найти практическое применение и в области, весьма далекой от медицины, а именно в судебной практике: для идентификации и опознания личности. В этом случае при проведении анализа используются нуклеотидные последовательности самых изменчивых участков ДНК митохондрий человека.

Наряду с ДНК-микрочипами, широкую известность приобрели *белковые микрочипы*, роль молекул-зондов в которых играют пептиды или целые белки. С помощью таких микрочипов можно исследовать взаимодействия белок-белок, белок-ДНК и т. п. Чаще всего конструируются белковые микрочипы, содержащие антитела, которые служат для специфической диагностики патогенов.

Кроме того, существуют и другие виды микрочипов: *химические микрочипы*, которые включают в себя

настоящие комбинаторные «библиотеки» небольших химических соединений: благодаря им можно проводить одновременный скрининг тысяч потенциальных лекарственных средств; микрочипы, которые содержат образцы биологической ткани и используются для одновременного анализа тысяч образцов тканей: они применяются при определении содержания белков в здоровых и патологически измененных тканях, а также при оценке потенциальных мишеней для лекарственных препаратов.

Как же можно оценить внедрение биочипов в научную и медицинскую практику в целом? Безусловно, развитие новых технологий приведет (и уже приводит) к небывалому качественному скачку в этих областях.

И неудивительно: ведь эти миниатюрные устройства, содержащие в своем составе миллионы спотов с самыми разными молекулами-анализаторами, в принципе способны одновременно отслеживать работу всех генов человека. Их использование открывает широкие горизонты для исследований, направленных на более глубокое понимание основ функционирования организмов в нормальном и патологическом состояниях, а также на создание принципиально новых лекарств. Наше здоровье и здоровье будущих поколений во многом является «делом техники» — и оптимизм вызывает тот факт, что новые технологии становятся доступными уже сегодня.

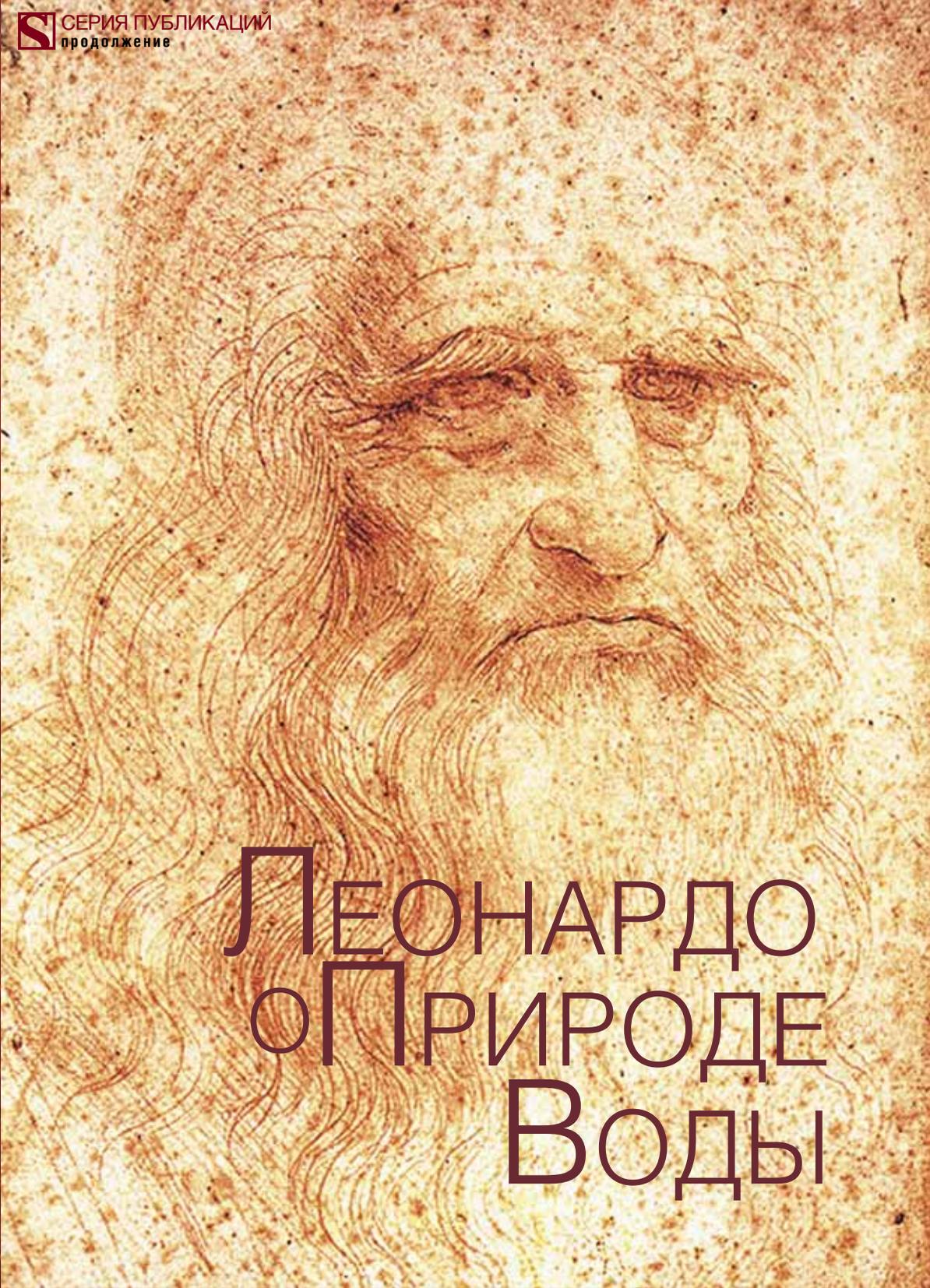


ФАКУЛЬТЕТ

М. А. МОГИЛЕВСКИЙ



СЕРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ
продолжение

A detailed study by Leonardo da Vinci showing the face of a man with a long, flowing beard and hair, rendered in fine, wavy lines. The background is a textured, golden-brown surface. The study is titled 'Water and Earth' and is a study for the 'Vitruvian Man'.

ЛЕОНАРДО О ПРИРОДЕ ВОДЫ



МОГИЛЕВСКИЙ Михаил Алексеевич — доктор физико-математических наук, профессор; более 30 лет преподавал физику в Физико-математической школе (Новосибирск). Основная область научных исследований в Институте Гидродинамики СО РАН 1960—1999 гг. — механизм деформации металлов при нагружении ударными волнами. Автор патента на производство литой Дамасской стали

От научного наследия величайшего универсального гения в истории человечества Леонардо да Винчи (1452—1519) до настоящего времени сохранилось около 7 000 страниц рукописей, что, согласно оценкам специалистов, составляет лишь 25—30 процентов того дара, который великий флорентиец оставил своему ученику Франческо Мельци. Материалы по нескольким направлениям исследований Леонардо намеревался опубликовать, составлял по ним подробные планы, неоднократно пересматривал, переписывал. В Кодексе Хаммера (теперь он находится в собрании Билла Гейтса) есть план «Книги о Воде», состоящий из 15 разделов: о воде как таковой; о природе дна; о вещах, которые движутся в ней; о каналах; о машинах, которые приводятся в движение водой, и др. В данной заметке мы представим лишь некоторые из достижений Леонардо в фундаментальных исследованиях по природе воды и в их приложениях

«Как облака образуются...»

*«Опиши, как облака образуются, и как они растворяются, и что заставляет пар подниматься с поверхности воды в воздух, и как образуется туман», «и как вода превращается в снег и в град...»**

На фото Антонио Бандаралли запечатлено редкое явление — формирование огромного облака над озером Лаго Маджоре в Ломбардии. Определяющую роль играют здесь, очевидно, относительные движения больших масс влажного воздуха, приходящего с Атлантики, который задерживается перед грядой высоких Альпийских гор. Наблюдение Леонардо да Винчи над подобным процессом в том же районе позволило ему прийти к пониманию наиболее существенных эффектов, имеющих место при формировании облака:



Облако над озером Лаго Маджоре в предгории Альп.

Фотография Антонио Бандаралли (Испра, Италия).

«Я однажды увидел облако в форме огромной горы, которое притягивало к себе все малые облака, что были поблизости, а само оставалось на месте».

Есть большая разница в содержании понятий *смотреть, видеть и увидеть*.

На основе своих наблюдений Леонардо первым объяснил процессы формирования облаков и падения дождя

* Все тексты, выделенные курсивом, принадлежат перу Леонардо да Винчи.

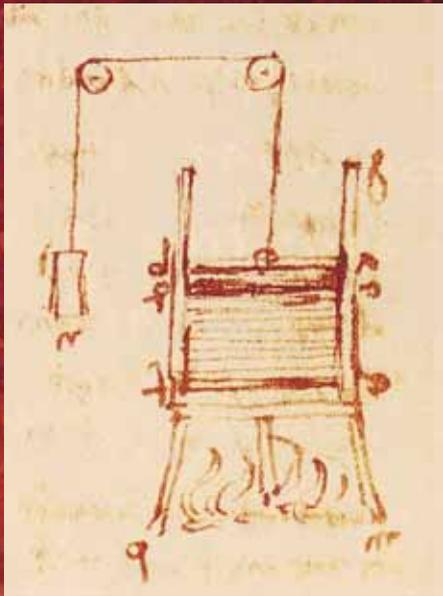


Рисунок установки для измерения плотности пара при температуре кипения. Постановкой этой проблемы Леонардо да Винчи на 150—200 лет предвосхитил исследования газовых законов и физики фазовых переходов

«Когда образуется облако, возникает также и ветер... При образовании облака влажный воздух втягивается из теплой области в холодную, которая лежит выше облаков; следовательно, нужно быстро набрать огромное количество воздуха, чтобы образовалось плотное облако; и так как нельзя сделать вакуум, окружающий воздух стремительно занимает то место, откуда был взят воздух при образовании облака... Я однажды имел возможность наблюдать этот процесс недалеко от Милана в районе озера Лаго Маджоре. Я увидел облако в форме огромной горы, которая выглядела как скопление горящих утесов. И эта гора притягивала к себе все маленькие облака, что были поблизости, а сама оставалась на месте...»

Впервые объясненный им процесс образования облаков и падения дождя Леонардо поразительно кратко и доходчиво изложил в форме басни:

«Пребывала вода в своей стихии — в великоленном море; нохватило ее желание подняться в воздух, и, получив поддержку стихии огня, вознеслась она тонким паром и казалась такой же тонкости, что и воздух. Но, поднявшись в высоту, очутилась она среди воздуха, еще более тонкого и холодного, где ее и покинул огонь. И вот уже малые ее частицы, встречаясь, стали соединяться между собой и обретать тяжесть. Высокомерие покинуло ее, она стала падать и была выпита сухой землей, где в заточении на долгие времена отбывает она покаяние за свой грех».

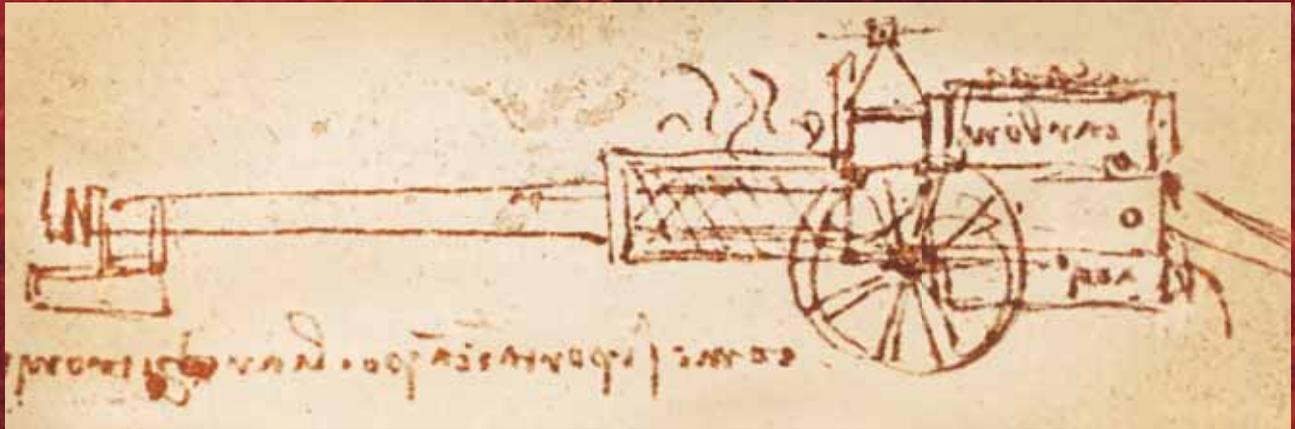
Следует отметить, что проблема образования облаков была сформулирована задолго до Леонардо да Винчи, в «Книге Иова» Ветхого Завета, написанной, как считается, две с половиной тысячи лет назад неординар-

ным философом-поэтом. Цитируемый ниже отрывок в переводе новосибирского историка М. И. Рижского представляет собой выдержку из речи Яхве с указанием на деяния и мудрость бога, недоступные пониманию простого смертного:

*«Кто провел протоки для ливня
И путь для грозовой тучи,
Чтобы шел дождь на безлюдную землю,
На пустыню, где нет человека,
Чтобы насытить пустыню и степь
И чтобы (из иссохшей земли)
взрастить зелень?»*

*(Скажи), есть ли у дождя отец,
Или кто рождает капли росы?
Из чьего чрева вышел лед,
И иней небесный — кто его родил?
...И сосуды небесные кто наклоняет,
Когда пыль сливается в слиток
И слипаются комья (земли)?»*

Формулировка проблемы в «Книге Иова» позволяет увидеть исток ее происхождения — жизненную важность выяснения сути данного явления для самого существования человека в условиях засушливого климата. Факт древней постановки данной проблемы подчеркивает весомость достижений великого флорентинца.



Паровая пушечка Леонардо — первый паровой двигатель, изобретенный и изготовленный более чем за 250 лет до И. И. Ползунова (1763) и Дж. Уатта (1784)

Испарение

Из исследований в этой области можно выделить, по крайней мере, три важнейших пионерских результата.

Измерение плотности пара

Леонардо впервые предложил схему установки для измерения плотности пара при температуре кипения:

*«Поставь эксперимент и установи правило о том, как возрастает объем воды, когда она превращается в пар. Мы возьмем квадратный сосуд с открытым верхом **ghef**, поместим внутри мешок, сделанный из бычьего пузыря, заполним его до половины водой, а верхняя половина будет свободна от воды и воздуха. Сверху положим прямоугольный брусок **ab** сечения такого же, как внутренний размер сосуда. И когда при нагревании вода станет испаряться, верхняя половина мешка начнет наполняться паром и крышка, уравновешенная противовесом **n**, будет легко подниматься паром. И тогда измерь, насколько меньше стало воды, и увидишь, сколько из нее получилось пара».*

Паровая пушка

Леонардо понимал возможность практического использования энергии пара и сконструировал паровую пушку. Когда зарядное устройство пушки раскалено горящим углем, артиллерист поворачивает рукоятку, открывается заслонка, отделяющая емкость с водой от камеры, и вода

«...мгновенно превращается в громадное количество пара, и это выглядит изумительно, особенно когда наблюдаешь его ярость и слышишь грохот».

Согласно записи Леонардо, небольшая пушка, изготовленная из меди, метала 60-фунтовые ядра на расстояние более чем 2—3 мили. Он ласково называл свою грохочущую игрушку *architronito* — *пушечка*.

Пушка Леонардо является по сути паровой машиной одноразового действия. Это изобретение было сделано более чем за 250 лет до И. И. Ползунова (1763) и Дж. Уатта (1784).

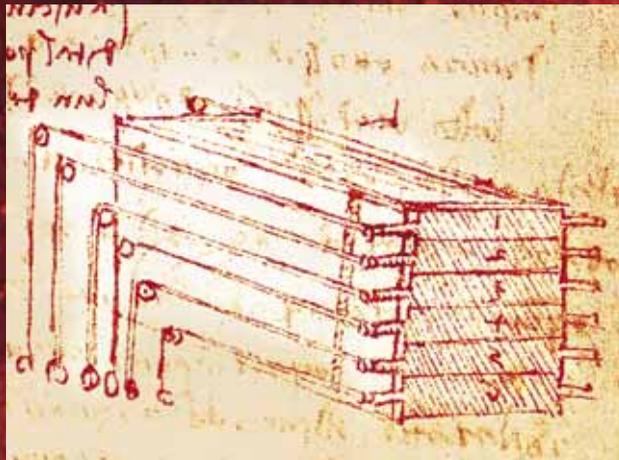
Неприятие Библейского Потопа

Находки окаменелых раковин на большом расстоянии от моря довольно часты в Италии. В течение многих веков присутствие морских раковин на горах рассматривалось как подтверждение Библейского Потопа. Леонардо детально изучил типы раковин и их биологические особенности, обнаружил на разрезах в речных долинах Ломбардии наличие не одного, а четырех слоев с раковинами и пришел к выводу о том, что

«...ни под влиянием дождей, увеличивающих количество воды в реках, ни посредством вздутия моря раковины, как вещи тяжелые, не могли быть пригнаны морем на горы и не могли быть увлечены реками против течения их вод, а жили в этих местах, когда там было море».

В качестве заключительного аккорда в этих исследованиях звучит его обоснование невозможности Всемирного Потопа с позиций науки о природе воды:

«Возникает сомнение, а именно: был ли Потоп во времена Ноя всеобщим или нет? В Библии читаем, что названный Потоп был следствием непрерывного дождя, продолжавшегося 40 дней и 40 ночей и что этот дождь поднял воду на 6 локтей выше самой высокой горы».



Устройство для измерения давления на боковую стенку сосуда

Водные лыжи

мира. Если действительно дождь был всеобщим, то он придал бы нашей Земле вид сферы, а на сферической поверхности каждая ее часть одинаково удалена от центра сферы; поэтому, если сфера воды находилась в подобном состоянии, то было невозможно, чтобы вода на ней двигалась, — ведь вода сама по себе не движется, если только не стекает вниз. Потому, как сошла бы вода подобного Потопа, если здесь доказано, что у нее не было движения? Здесь естественные причины отсутствуют. Потому, чтобы разрешить такие сомнения, необходимо призвать на помощь чудо, если только не сказать, что эта вода испарилась от жара солнца».

Поверхностное натяжение

Леонардо первым ввел в науку понятие о «связности и силе сцепления между частицами жидкости» — свойстве, называемом ныне «поверхностным натяжением»:

«Воды присуща связность и сила сцепления между ее частицами; это можно увидеть, наблюдая, как капля, прежде чем она оторвется от остальной воды, вытягивается, удерживаясь в точке контакта, пока ее вес не станет избыточным. Вода служит магнитом для другой воды»; «сразу после того, как капля отделилась, остальная часть воды возвращается вверх против природы тяжести. Можно видеть, как большая капля немедленно поглощает малую при соприкосновении с ней...»

Он отмечал также подъем жидкости в трубках малого диаметра и использовал капиллярный эффект для анализа движения воды в земле:

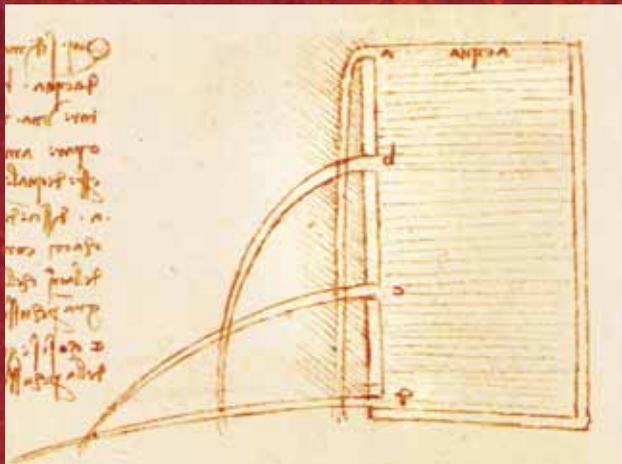
«Вода в песчаном берегу реки поднимается сама по себе, против природы тяжести, и смачивает его лишь потому, что сухость притягивает ее».

Из гидростатики

- Он знал закон Архимеда: «Столько воды покидает свое место там, где плавает корабль, сколько весит сам корабль». Изобрел водные лыжи.
- Правильно записывал условие равновесия жидкостей разной плотности в сообщающихся сосудах.
- Предложил устройство для измерения давления на боковую стенку сосуда в зависимости от высоты столба воды.
- Исследовал зависимость скорости вытекания струй из боковой стенки сосуда от высоты столба жидкости.

Из гидродинамики

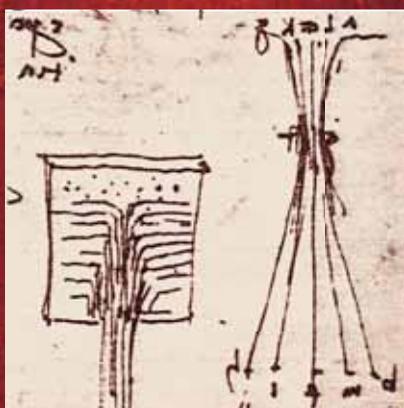
- Леонардо ввел понятие о линиях тока и использовал его при изучении движения тел в воде и обтекания водою преград, при рассмотрении взаимодействия потоков и изучении турбулентности.
- Он впервые сформулировал принцип неразрывности струи, или сохранения массы в трубке жидкости: $VS = \text{const}$, где V — скорость потока, S — сечение. На основе принципа сохранения массы показал возникновение при приборе обратного потока от



Исследование зависимости скорости вытекания струй из боковой стенки сосуда



Леонардо ввел понятие о линиях тока, одно из основополагающих в гидродинамике



Применение меток при исследовании вытекания воды из отверстия на дне сосуда



Использование эффекта, показанного на верхнем рисунке, при разработке устройства для обеспечения безопасного торможения автомобиля при ударе: натуральный эксперимент на машине Рено-Клио, Европейский исследовательский центр «Лабейн» (Испания), 1999

берега вглубь моря и объяснил этим эффектом формирование отложений глины на большом удалении от берега.

- Многие открытия Леонардо при исследованиях движения воды и воздушных потоков были получены с помощью маркеров. В качестве меток он использовал соломинки, грязь, пыль, мелкие семена, пузырьки, дым, птиц, парящих в восходящих потоках. На рисунке (в центре) показана установка для исследования вытекания воды из отверстия на дне сосуда. Линии тока наблюдались с помощью мелких семян. Этот рисунок Леонардо да Винчи сыграл роль спускового механизма при разработке автором устройства для обеспечения безопасности пассажиров при аварийном ударе автомобиля о препятствие. Кинетическая энергия автомобиля при ударе превращается в энергию высокоскоростной струи из небольшой емкости с водой, находящейся за бампером. В натуральных экспериментах была подтверждена эффективность предложенного устройства с 0,5 л воды даже при угле соударения машины с преградой под углом 30° . Можно сказать, что идеи Леонардо не стареют!



Зарождение и развитие вихрей в воде при падении струи в пруд

Турбулентность

Леонардо впервые исследовал зарождение и развитие вихрей в воде. На рисунке показаны процессы, происходящие при падении струи воды в спокойную воду. Леонардо смог заметить и четко выделить следующие важные эффекты: зарождение вихрей под поверхностью, уничтожение вихрей противоположного знака при встрече и подавление вихрей за счет их взаимодействия с пузырями («часть возбужденной воды, которая оказывается между воздухом и нижележащей массой воды, не может вынести столь многих вращений»).

Волны на воде

При изучении волн на поверхности воды его поразил необычный эффект: волны от двух камней после ясно видимых изменений амплитуды в области взаимодействия при удалении от нее восстанавливали свою форму:

«...Причина заключается в том, что, хотя и появляется некоторая видимость движения, вода не сдвигается со своего места, так как отверстия, которые сделали камни, тотчас же сомкнулись, и это, возникшее от внезапного размыкания и смыкания воды движение производит в ней некое сотрясение, которое гораздо скорее можно назвать **дрожанием**, нежели движением...»

Размышляя об обнаруженном эффекте, Леонардо пришел к выводу о волновой природе звука и света:

«Если камень падает в воду по вертикали, вода, выплескиваемая с места удара, также будет подниматься в вертикальном направлении».

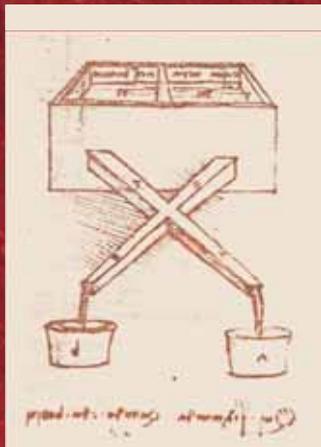
Здесь Леонардо впервые описал один из красивых гидродинамических эффектов — формирование кумулятивной струи в области косоугольного соударения потоков. Механизм этого процесса был объяснен лишь через 450 лет М. А. Лаврентьевым.

Он поставил изящный эксперимент по косоугольному соударению подкрашенной и чистой водяных струй, повторенный недавно в Институте гидромеханики в Карлсруэ. В этой установке наблюдаются два нетривиальных эффекта: отражение потоков без перемешивания и формирование волн в зоне контакта (стр. 58). Следует заметить, что гидродинамическая модель успешно используется при анализе высокоскоростного косоугольного соударения металлических пластин. При этом в зоне контакта формируется кумулятивная струя и в довольно широком диапазоне углов соударения происходит сварка взрывом, обычно с характерным волнообразованием. На рисунке (стр. 57) показан шлиф биметалла вольфрам-медь, полученного по методу, предложенному автором (при отрицательном угле соударения).

Исследования, вызванные потребностями практики

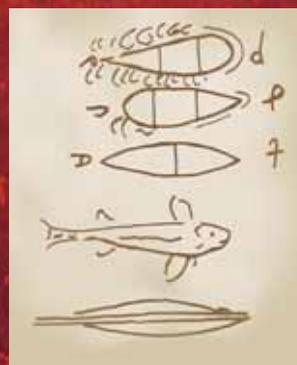
«Когда будешь окончательно оформлять исследования о движении воды, не забудь включить в каждый раздел предложения по их использованию, для того чтобы эта наука могла быть **небесполезной**».

Таково было кредо Леонардо — естествоиспытателя. Был также и обратный ход, когда потребности практи-



Установка для изучения процессов, происходящих при косом соударении струй

Волнообразование при сварке взрывом вольфрама с медью



Наилучшая форма для корабля должна быть аналогичной форме рыбы

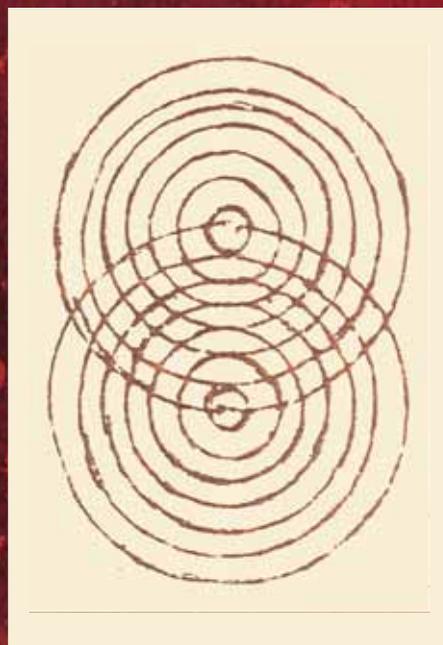
ки инициировали проведение научных исследований и инженерных разработок. Тем более что Да Винчи в течение 20 лет службы при дворе миланского герцога Лодовико Сфорца исполнял обязанности Инженера и Художника, а последние годы, с 1517 по 1519, прожил во Франции, где его величали «Первым Королевским Художником, Инженером и Архитектором, Государственным Механиком». Так что по долгу службы он разрабатывал проекты и руководил сооружением крепостей, каналов, мостов, осушением болот и другими работами.

Обтекаемый профиль корабля

«Природа не нарушает свои законы», а потому, как предполагал Леонардо, наилучшая форма для корабля должна быть аналогичной форме рыбы:

«Эти три корабля одинаковой ширины, длины и глубины погружения под действием одинаковых движителей будут двигаться с разными скоростями. Корабль **ab**, у которого передняя часть широкая, будет самым быстрым; и он напоминает по форме птицу или рыбу типа кефали; он встречает головной частью большое количество воды, и образующиеся вихри давят на задние две трети корабля. Корабль **dc** — второй сверху на рисунке, будет двигаться гораздо медленнее...» Следует заметить, что профиль современной гоночной яхты ниже ватерлинии соответствует форме, рекомендованной Леонардо.

К этому можно добавить замечание Леонардо по поводу влияния качества поверхности на скорость движения корабля: «Выделение некоей слизи, которую трудно отделить с поверхности рыбы, играет ту же роль, что смола, покрывающая корабль».



Волны на воде от двух камней. Анализируя взаимодействие волн, Леонардо пришел к выводу о природе волнового движения и экстраполировал его на волновую природу звука и света

Регулирование водных потоков

На странице 15-В Кодекса Хаммера перечислены 38 «положений о движении воды» с многочисленными рисунками и записью в конце: *«Наука об этих объектах очень полезна, так как она учит, как изменять направление течения реки и избежать разрушения в местах, по которым она ударяет»*. В списке проблем стоят вопросы, которые действительно необходимо было детально исследовать и сформулировать в виде практических рекомендаций, в том числе:

«2. Если вода ударяет по препятствиям, которые она не обтекает сверху, она вымывает грунт перед препятствием и намывает за ним.

3. А если вода обтекает препятствие сверху и вокруг, то она вырывает грунт вокруг, за исключением мест с малым наклоном, потому что там нет падения.

...25. Как делать судоходные каналы, если их пересекает речка...»

Несомненно, с работами Леонардо по ирригации связано изобретение перегородки шлюза, состоящей из расположенных под углом двойных ворот, где само давление воды используется для лучшего смыкания стенок, а также исследования по изучению зависимости давления и скорости вытекания от высоты столба воды, столь важные при проектировании водяных мельниц и приводов.

Изобретение центробежного насоса

Вначале было наблюдение:

«О неожиданном водовороте. Когда рука производит вращательное движение в сосуде, наполненном водой, она производит неожиданный водоворот, который обнажает дно сосуда...»

Затем — поиск причины:

«...и когда движущая сила убирается, водоворот будет продолжать это движение, но постепенно уменьшаться до тех пор, пока импульс (по существу, в данном случае речь идет о моменте количества движения. — М. М.), введенный этой движущей силой, не исчерпается».

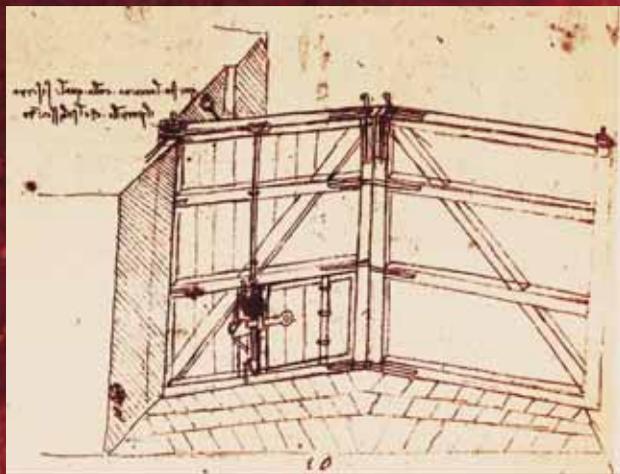
Если такой водоворот поддерживать с помощью внешнего механизма, можно создать устройство для откачивания воды. В записях Леонардо имеются чертежи двух вариантов насоса: для осушения болот и для применения на кораблях.

Изобретение турбины

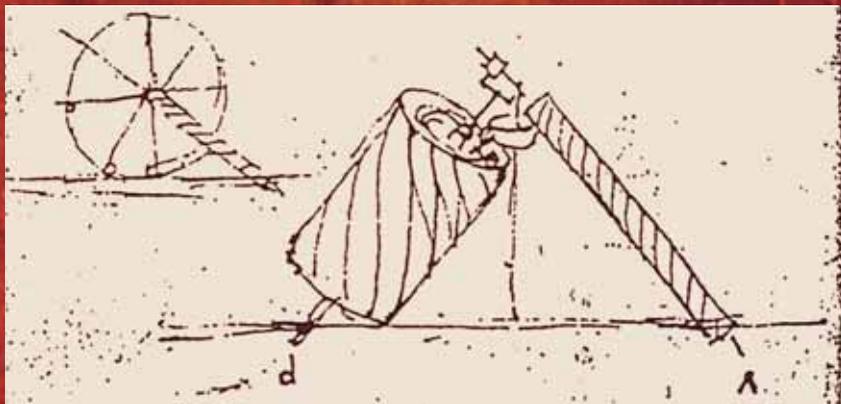
Основным приводом к машинам до изобретения паровых и электрических машин было водяное колесо с лопастями, перпендикулярными оси. Леонардо впервые показал, что эффективность ис-



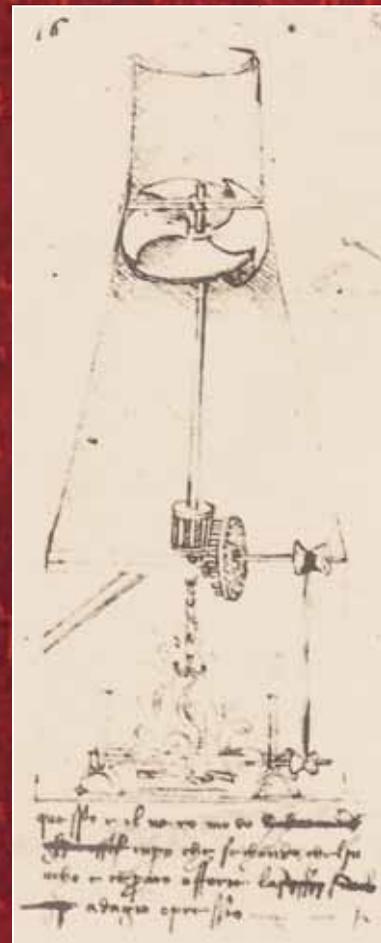
Фотография формирования волн в зоне контакта струй в установке для изучения процессов, происходящих при косом соударении струй, построенной в Карлсруе (1982 г.)



Изобретенная Леонардо перегородка шлюза из расположенных под углом двойных ворот, где само давление воды используется для лучшего смыкания стенок



Сцепка из двух винтов Архимеда — одна из схем, предложенных, а затем отвергнутых Леонардо в ходе многолетних попыток создать вечный двигатель

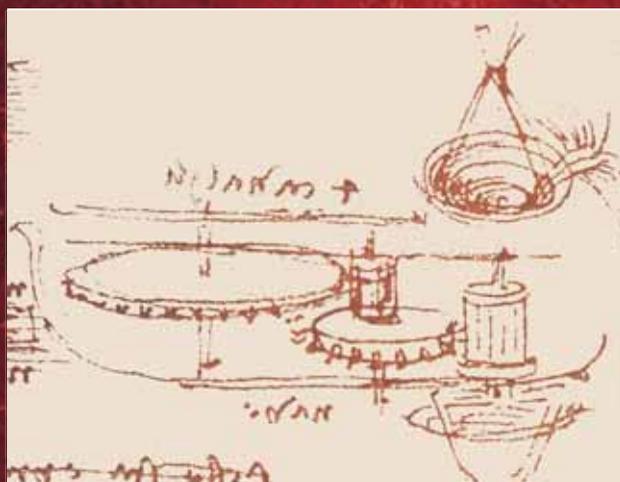


Применение на практике изобретенной Леонардо турбины — пропеллер в трубе над вертелом

пользования энергии падающей воды можно повысить, если пропустить поток через «водяной винт», помещенный в трубу. Это — прообраз современных водяных и газовых турбин. На этом принципе Леонардо изготовил первый в мире автомат, устройство с обратной связью — привод к вертелу от винта-пропеллера в трубе. Чем сильнее огонь, тем сильнее тяга в трубе, быстрее крутится пропеллер, быстрее вращается туша на вертеле — и мясо не поджаривается.

Вечный Двигатель

Теперь каждый человек, окончивший школу, знает, что вечный двигатель невозможен, потому что это противоречит закону сохранения энергии. А ведь были времена, не такие далекие, когда еще не существовало физического понятия ЭНЕРГИЯ и многие имели возможность наблюдать надежно работающий естественный вечный двигатель — водяное колесо. Изобретатель, который смог бы изготовить «вечное колесо», осчастливил бы человечество и навеки прославил свое имя. Леонардо, конечно же, не мог не взяться за решение этой проблемы. Одна из предложенных им схем, связка двух винтов Архимеда, показана на рисунке (в правом верхнем углу). Предполагалось, что вода будет подниматься первым винтом малого диаметра на некоторую высоту, а затем возвращаться по второму винту на исходный уровень. Существенной особенностью схемы является большой радиус возвращающего воду винта (что действительно должно было создавать большой вращающий момент, чем на первом



Изобретение центробежного насоса на основе наблюдения неожиданного эффекта: «Когда рука производит вращательное движение в сосуде, «водоворот обнажает дно сосуда, наполовину наполненного водой»

колесе, но отнюдь не большую работу за цикл). Комментарий к чертежу: «...вода по винту **bn** возвращается на первый вит и повторяет этот процесс неограниченно долго» — свидетельствует о том, что в то время (запись датируется 1489 г.) Леонардо не сомневался в возможности осуществления вечного двигателя. Но система не работала. Предложил он также и несколько других оригинальных конструкций: со сжатым воздухом, с введением асимметрии посредством погружения части колеса в воду, капиллярный двигатель. После семи лет экспериментов и размышлений он остановился, исследовал, что происходит в случае лишь трех грузов на колесе, и нашел, что система просто стремится в состояние, при котором суммарный центр масс занимает наинизшее положение. Итогом этого безуспешного многолетнего цикла работ явился сформулированный Леонардо да Винчи в 1493 г. Принцип Невозможности Вечного Двигателя, эквивалентный Принципу Сохранения Энергии (см. подробнее статью в журнале «Квант», 1999, № 5):

*«В течение веков все, кто имел дело с гидравликой, военными машинами и прочим, тратили много времени и денег на поиски вечного двигателя. Но со всеми ними случилось то же, что с искателями золота <алхимиками>: **всегда находилась какая-либо мелочь, которая мешала успеху...** Я вспоминаю, что несколько наивно верящих <изобретателей> из разных стран приехали в Венецию, обещая сделать мельницу на мертвой воде и получить много. И поскольку они не смогли заставить эту машину двигаться, то были принуждены двигаться сами, и очень быстро».*

Заметьте, теперь, после вывода о том, что в любой схеме двигателя найдется какая-либо мелочь, которая превратит его из *perpetuum mobile* в *perpetuum stabile*, Леонардо даже не упоминает о типе неудачной установки в Венеции.

№8



Комплект № 8 «Леонардо»

Серия публикаций, посвященных научному методу, разработанному Леонардо да Винчи, с помощью которого, несмотря на отсутствие классического университетского образования, он смог получить научные результаты высочайшего уровня

Комплект № 8 состоит из двух номеров: № 5 (11) — 2006 г.; № 5 (17) — 2007 г.

ЦЕНА 160 руб.

Порядок приобретения комплекта см. на стр. 94

КАК УЧИТЬ: объем знаний, или метод?



Академик М. А. Лаврентьев —
первый председатель
СО АН СССР
(с 1957 по 1975 гг.).

Глубоко аргументированные выступления М. А. Лаврентьева в прессе по проблемам обучения и активное участие Сибирского отделения Академии наук инициировали перестройку школьного образования в стране с начала 60-х гг. в направлении раннего определения способностей школьников и их эффективного развития



Адмирал Х. Дж. Риквер
с президентом Джимми Картером,
который начинал воинскую службу
под руководством Риквера

Можно много говорить об этом, но лучше привести высказывания мудрых в пользу развития у школьников умения думать. Леонардо да Винчи: «Добывать знание является естественной потребностью хорошего человека».

Л. Н. Толстой: «Знание только тогда знание, когда оно приобретено усилиями своей мысли, а не памятью».

Л. Д. Ландау: «Метод важнее открытия, ибо правильный метод исследования приведет к новым, еще более ценным открытиям».

Десятки открытий Леонардо да Винчи на 200—300 лет предвосхитили работы последователей. Леонардо не получил университетского образования, но, обладая ненасытной потребностью к добыванию знания, разработал эффективный метод решения научных проблем, «правила, которые дают возможность легко приходить к правильным суждениям на основе хорошего понимания». Какие из леонардовских правил особенно полезны для ученого, учителя, учащегося?

Научная судьба Леонардо убедительно свидетельствует о том, что учить надо всех, но нельзя учить всех одинаково.

Леонардо учит, что для развития умения думать важно обучение способности самостоятельно находить и формулировать проблемы.

Леонардо учит, что необходимо изучать процесс, явление в целом: «Как королевство разделенное разрушается, так и мысль разделенная путается и ослабляется».

Леонардо учит, что важно с самого начала стремиться к построению научной модели явления, когда аккуратно оцениваются роль различных определяющих параметров и возможные варианты развития процесса.

В результате многолетнего изучения манускриптов Леонардо автором создана модель его Научного Метода. Наиболее полезной разработанная схема будет для учителей и школьников из специализированных школ и классов, широкая сеть которых создана в нашей стране в результате реформы системы образования 1960—1980-х гг.

К сожалению, в последние годы по инициативе Министерства образования в стране агрессивно вводится Единый государственный экзамен. По организационной структуре и финансовому обеспечению ЕГЭ является жалкой копией тестирования в американской системе образования. Показательно, что в самой Америке все резче звучат возражения против преимущественной ориентации школы на подготовку к тестам, где проверяется огромный объем информации, в результате чего обучение умению думать и решать нетривиальные задачи выпало из системы приоритетов. В наиболее обоснованном виде критика американской системы образования, не обеспечивающей требуемого качества обучения, была высказана адмиралом Х. Дж. Риквером, отцом подводных ракетноносных атомных подводных лодок, в книге с показательным названием «Американское Образование, Национальная Катастрофа» (1963). После этого ситуация не улучшилась.

М. А. Могилевский



ПРИРОДНЫЕ ФЕНОМЕНЫ

Этюды о растениях

Вниманию читателей мы предлагаем первую публикацию, посвященную фитохимии и фитофармакологии, выполненную на основе материалов, которые были предоставлены редакции династией известных российских ученых: академиком РАН Г. А. Толстиковым (Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН), член-корреспондентом РАН А. Г. Толстиком (Президиум РАН, Москва) и доктором биологических наук Т. Г. Толстиковой (Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН).

Речь пойдет об истории врачевания травами, о традиционных и современных технологиях получения из растений лекарственных препаратов, а также об алкалоидах — сильнодействующих растительных средствах, издавна пользовавшихся дурной славой, но в умелых руках превращающихся в лекарство.

В последующих выпусках журнала мы планируем опубликовать оригинальные статьи авторов, которые знакомят с необъятным миром растений: наших друзей, помощников и лекарей, — а также с традиционными и современными технологиями создания лекарственных средств на основе низкомолекулярных растительных веществ

За многие века, в течение которых человек изучает растения, выработалось понятие о *фитохимии* как о разделе химической науки, который исследует строение и превращения химических соединений, продуцируемых растениями. Примыкающая к фитохимии *фитофармакология* занимается проблемами биологической активности растительных веществ (или растительных метаболитов), являясь, таким образом, частью медицинской науки.

Органические вещества, входящие в состав растений, о которых далее пойдет речь, можно условно разделить на два класса соединений: *высокомолекулярные* и *низкомолекулярные*. Первый класс включает в себя преимущественно полимеры моносахаридов (глюкозы, ксилозы, галактозы и т. п.). Характерными представителями полисахаридов являются такие полимеры глюкозы, как целлюлоза, служащая опорным строительным материалом растений, и крахмалы, которые можно назвать аккумуляторами энергии.

Но главным предметом нашего внимания будут низкомолекулярные растительные вещества, составляющие так называемый класс *вторичных метаболитов*. Их роль в жизни растений огромна, хотя до конца и не выяснена. На сегодня известно, что они ведают процессами роста и развития растений, охраняют хозяев от патогенных микроорганизмов, грибов и насекомых-вредителей. Исследование функций этих удивительно разнообразных метаболитов, безусловно, принесет еще немало сенсаций.

Интерес же человека к низкомолекулярным растительным веществам связан с его потребностями в продуктах питания, средствах врачевания болезней, а также в сырье для промышленности и в других подобных «сущностях», которые определяют качество жизни.

Если говорить об объемах производства и потребления низкомолекулярных растительных метаболитов, то безусловными чемпионами являются сахароза (130 млн т в год) и растительные жиры со схожим уровнем потребления. Следующую позицию можно закрепить за D-глюкозой, производимой из растительного крахмала (5 млн т в год). На ее основе получают D-сорбит (650 тыс. т), без которого невозможно производство аскорбиновой кислоты. В последние десятилетия появилась потребность в таких моносахаридах, как D-фруктоза (60 тыс. т), D-ксилоза (25 тыс. т), ксилит (30 тыс. т), которые используются в медицинской и пищевой промышленности.

К низкомолекулярным метаболитам относятся и скипидары, живицы и канифоли, добываемые из хвойных деревьев. Скипидары (годовое производство более 200 тыс. т) заняли в последние десятилетия важное место в химической промышленности. Так, более четверти объема их годовой добычи идет на производство душистых, ароматических и лекарственных веществ, имеющих широчайший рынок сбыта. Трудно найти равноценную замену и канифолям, которые используются в производстве синтетических каучуков, резинотехнических изделий (в особенности автомобильных шин), а также лаков и красок высокого качества.

Сегодня определились и новые направления в использовании смоляных кислот компонентов живиц и канифолей. Так, исследования последних трех десятилетий наметили пути превращения их в вещества, перспективные в качестве лекарственных препаратов. Объем производства низкомолекулярных метаболитов, предназначенных для такого производства, более скромный и составляет от нескольких килограммов до нескольких десятков тонн.



Диоскорид



Ли Ши-Чжен

История врачевания травами

Фармакогнозия — изучение растительных метаболитов, основой которого стали народная мудрость и наблюдательность, — берет свое начало в глубокой древности. Среди 22 тысяч глиняных клинописных табличек, найденных при раскопках дворца ассирийского царя Ашурбанипала, 33 содержат сведения о лекарственных растениях. В сочинениях знаменитого врача Гиппократа описываются 236 целебных растений. «Отцом фармакогнозии» считают грека Диоскорида, известного античного врача и ботаника, чей труд «Materia medica» вплоть до XVI в. считался в Европе самым авторитетным медицинским руководством. Труды греческого врача Галена (его именем до сих пор называют препараты, получаемые из растений в виде настоек, отваров и т. д.) высоко ценились еще в XIX в. Древнейшая медицинская книга Индии «Яджур-веда» («Наука о жизни») содержит

сведения о 700 лекарственных растениях. На ее основе составлена и популярная тибетская медицинская книга «Джуд-Ши» («Сущность целебного»). До сих пор непревзойденным источником сведений о лекарственных растениях является травник китайского ученого XVI в. Ли Ши-Чжена, в котором содержится описание 1892 объектов. Лекарственным растениям уделено много места и в получившем широчайшую известность многотомном «Каноне врачебной науки» великого ученого Абу-Али Ибн Сины (Авиценны).

Лечение травами издавна практиковалось и у славян. В Древней Руси оно было профессией волхвов и знахарей, передававших свое умение устно из поколения в поколение. Эту эстафету приняли у них монастыри, при которых была организована заготовка лекарственных трав. К сожалению, письменные сведения о положении лечебного дела в России до середины XVII в. отсутствуют.



Абу-Али Ибн Сина (Авиценна)



А. П. Орехов — основатель советской научной школы по изучению алкалоидоносных растений

На государственную основу лечебное дело в России было поставлено при царе Алексее Михайловиче, организовавшем специальную «госструктуру» — Аптекарский приказ, и в особенности при Петре I, который издал указы о создании аптек и аптекарских огородов.

Дальнейшее развитие исследований, посвященных врачеванию с помощью лекарственных растений, стимулировалось составлением в 1778 г. первой в России гражданской фармакопеи. Так, известный общественный деятель А. Т. Болотов поместил в издаваемом им журнале около 500 статей о лекарственных растениях. Событием своего времени явилось издание многотомного труда Н. М. Максимовича-Амбодика «Врачебное вещество», также включавшего описание многочисленных целебных растений.

Однако в первой половине XIX в. «петровский импульс», по-видимому, стал иссякать. Было отменено введенное царем государственное снабжение войск медикаментами, ушли в историю аптекарские огороды и галеновые лаборатории, распалась система заготовки трав. Многочисленные частные аптеки взяли курс на торговлю импортным сырьем и лекарствами. Российская фармакопея перестала переиздаваться: аптеки стали пользоваться немецкой фармакопеей.

Ничуть не отрицая необходимости восприятия мирового научного опыта, не преминем заметить, что властные структуры нашего государства периодически, что называется, «наступают на одни и те же грабли». Синдром отмены централизованной заботы о здоровье нации, к сожалению, оказался живуч и в наше время — спустя более полутора столетий



Перегонка с паром — один из древнейших методов получения из растений летучих соединений, таких как эфирные масла

Выделение растительных веществ. От перегонки — до хроматографии

Основные приемы, которые используются для извлечения из растений нужных веществ, немногочисленны. В первую очередь, это экстракция подходящими растворителями, в качестве которых могут выступать вода, спирты, ацетон, эфиры и т. д. Экстракции могут подвергаться большие объемы материала: в мире ежегодно перерабатываются десятки и сотни тысяч тонн растительного сырья для извлечения веществ, необходимых для химической промышленности.

Поскольку первым продуктом обработки растительного материала обычно являются сложные смеси веществ, то одним из необходимых элементов высоких технологий стала разработка методов выделения индивидуальных соединений. В настоящее время в промышленном масштабе для этих целей используются адсорбционная и ионообменная хроматография,

высокоэффективная жидкостная хроматография, мембранное разделение, тонкая ректификация и многие другие методы.

Старинным, но хорошо работающим методом является перегонка с водяным паром, используемая для выделения летучих соединений, таких как эфирные масла. Например, мятное масло, ценимое за содержащийся в нем ментол, получают паровой перегонкой надземной части перечной мяты, собранной в период цветения. В этот период максимальная концентрация эфирных масел наблюдается также в шалфее, герани и лаванде.

Для получения же жасминного, иланг-илангового и особо ценного розового масла используются только цветы. Незабываемое ощущение чего-то сказочного испытываешь, стоя перед целой горой розовых цветочных лепестков, приготовленных для паровой перегонки. На почетном месте у парфюмеров стоит ирисовое масло, добываемое из корней ириса. А вот источником анисового и кориандрового эфирных масел служат семена. К началу 1980-х гг. в производстве лекарственных

добавок, средств парфюмерии и косметики использовалось более 35 видов эфирных масел, среди которых безусловными чемпионами по объему выпускаемой продукции являются масла цитрусовых.

Паровой перегонкой живиц хвойных деревьев и так называемого пневого осмола — продукта экстракции пней — можно получить десятки тысяч тонн скипидаров. Не меньшее количество скипидара производится и в процессе превращения древесины в целлюлозу. Саму живицу (древесную смолу) получают собирательством — древнейшим способом, известным человеку с добиблейских времен. Смолы собирали не только на местах случайных повреждений ствола или веток — их выделение стимулировали, нанося на ствол дерева специальные надрезы. Так была изобретена *подсочка* — прием, принципиально не изменившийся за несколько тысячелетий.

Смолы различных деревьев широко использовались в древней медицине. Известно, например, что они служили дезинфицирующим покрытием при лечении ран. Установлено и дезинфицирующее действие жертвенных храмовых воскурений: это свойство смол заметили еще древние египтяне во время эпидемии чумы.

Огромное внимание в древности уделялось искусству составления благовоний, мазей и притираний — косметическим средствам, которые мы с полным правом можем причислить к средствам медицинского назначения. Так, в числе подарков Царицы Савской царю Соломону были и смолы и бальзамы из Южной Аравии. А персидского царя Дария во время похода против Греции пользовались четыре десятка мастеров-косметологов!

Воспетая поэтом мирра — тоже ароматическая смола, выделяющаяся после надрезания коры аравийского дерева *Commiphora*. Помните, у Куприна: «... сам весь благоухающий, старый, жирный, сморщенный скопец-египтянин» «осторожно отсчитал из финикийской склянки в маленький глиняный флакончик ровно столько капель мирры, сколько было динариев во всех деньгах Сулами-фи, и когда окончил это дело, то сказал, подбирая пробкой остаток масла вокруг горлышка и лукаво смеясь: “Смуглая девушка, прекрасная девушка! Когда сегодня твой милый поцелует тебя между грудей и скажет: “Как хорошо пахнет твое тело, о моя возлюбленная!” — ты вспомни обо мне в этот миг. Я перелил тебе три лишние капли”».

Наконец, египетские жрецы использовали смолу кедра и канифоль при бальзамировании. Кстати, само название «канифоль» происходит от названия малоазийского города «Колофон», где процветала технология термической переработки живицы хвойных деревьев, дающая канифоль и терпентинное масло (скипидар). Есть все основания считать, что эта технология была заимствована от умельцев Древней Месопотамии. К сожалению, это искусство долгое время считалось утраченным и возродилось благодаря трудам арабских алхимиков VII—VIII вв. нашей эры, после чего перекочевало в средневековую Европу.

Итак, теми или иными методами целевые растительные вещества получены. Как складывается их дальнейшая судьба? При всем огромном разнообразии технологий переработки растительных метаболитов, среди них можно выделить два подхода.



Страница из рукописи травника XVII в.



Paraver somniferum. Мак снотворный

Первый из них предусматривает использование соединений в *нативном* (природном) виде. Будучи самым старым, этот подход не утратил своего значения и по настоящее время. Например, еще в XIX в. стали употребляться такие препараты, как противомаларийный

хинин, добываемый из коры хинного дерева, анальгетик *морфин*, получаемый из опийного мака, регулятор сердечной деятельности *строфантин*, вырабатываемый африканским растением строфантус. Во второй половине прошлого века в лечении онкологических заболеваний начали применять *винбластин* и *винкристин* из вьюнка розового, *камптоцетин* — метаболит дерева камптотека остроколючая, растущего в горных лесах Юго-Западного Китая.

Согласно второму подходу, растительные метаболиты рассматриваются как исходный материал для направленных химических или микробиологических трансформаций, имеющих целью либо усиление базовой активности исходных веществ, либо получение препаратов с совершенно новыми свойствами.

Глубина структурной трансформации веществ может быть различной. Очень часто без значительного изменения структуры вещества удается улучшить транспорт лекарственного препарата в организме и повысить его базовую активность. Глубокие превращения растительных метаболитов нередко требуют приложения самых современных методов тонкой химической технологии, что лимитирует объемы их производства.

В качестве наглядного примера создания новых лекарственных форм из растительного материала давайте обратимся к исследованиям отечественных ученых, связанных с одним из наиболее перспективных классов растительных метаболитов — алкалоидов.

Алкалоидная одиссея

«Это снадобье для полета ведьм приготавливалось из ядовитого латука, болотного сельдерея, болиголова, паслена, корней мандрагоры, снотворного мака, змеиной крови и жира некрещенных, колдуньями замученных детей» (Д. Мережковский, «Воскресшие боги»).

Ядовитые растения, которые могут одурманить, вызвать состояние анальгезии, а то и убить человека, были издавна отмечены вниманием людей, занимавшихся врачеванием, колдовством и ведовством. Мандрагора, о которой говорится в рецепте из процитированного романа, обладала, по поверьям, магической силой, чему в немалой степени способствовала сама форма растения, напоминающая человеческую фигуру. Настой

корня действительно был способен вызвать бредовое состояние, а людям средневековья казалось, что под действием дьявольских сил устами человека говорит сам нечистый.

К началу XIX в. изучение сильнодействующих растительных средств стало одним из важных научных направлений. В первой четверти века особый интерес вызывали такие средства, как опиум, применявшийся для утоления боли, хинная корка, завезенная в Европу отцами-иезуитами, а также белладонна, использовавшаяся для лечения ряда болезней.

В 1806 г. французский аптекарь Сертюрнер, выделив из опиума морфин, сообщил, что он открыл новый класс веществ — класс так называемых растительных щелочей. Двенадцатью годами позже Мейснер предложил для таких веществ название «алкалоиды» (от латинского *alkali* — «щелочь»). В 1820 г. было показано, что действующим началом хинной корки является алкалоид хинин, а еще через 11 лет была установлена «ответственность» атропина, алкалоида из белладонны, за способность расширять глазной зрачок. В настоящее время алкалоидами называют органические вещества, выделенные из природных объектов и содержащие в своей структуре хотя бы один атом азота.

Список известных алкалоидов огромен, также как и разнообразие их структур, и все они обладают высокой биологической активностью. (Нужно отметить, что к перечню растительных алкалоидов (а их продуцируют многие тысячи видов растений) ныне добавляются многочисленные субстанции, которые синтезируются животными и морскими организмами.)

Российская «алкалоидная одиссея» началась в 1928 г., когда в СССР возвратился А. П. Орехов, до этого более пятнадцати лет проработавший в лабораториях Швейцарии и Франции. Огромная эрудиция, научные заслуги этого выдающегося химика позволили ему быстро

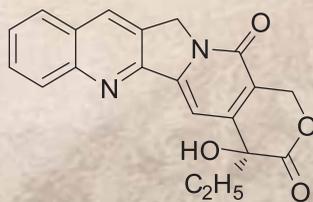
создать мощную научную школу, главным направлением которой стало изучение алкалоидоносных растений страны.

Нужно заметить, что к этому времени флора нашей страны, в особенности ее азиатской части, была для исследователей настоящей «terra incognita». Самые интересные находки ожидали Орехова и его сотрудников в Средней Азии, флора которой оказалась исключительно богатой на растения, продуцирующие алкалоиды. Научная школа Орехова была четко ориентирована на практику: разработки, относившиеся к разряду фундаментальных исследований, в течение считанных лет становились промышленными технологиями. Главной базой отечественного производства алкалоидов стал Химико-фармацевтический завод в г. Чимкенте (Казахстан).

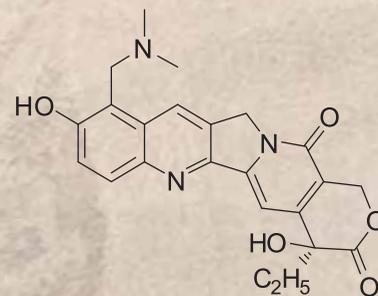
Талантливейшим учеником Орехова был С. Ю. Юнусов. Мальчик-узбек, выходец из бедной семьи, одетый в халат и в знаменитые азиатские калоши, поехал учиться в Москву. Юный Сабир оказался крепким орешком: преодолев все препоны, которые ставили ему чиновники от образования, он пробился на прием к самому всесоюзному старосте М. И. Калинин.

Юнусов добился своего. Позже, следуя заветам учителя, он создал в Узбекистане одну из самых крупных и авторитетных научных школ мирового уровня. За годы, что он возглавлял организованный им Институт химии растительных веществ Академии наук Узбекистана, там было исследовано более тысячи алкалоидов. Экспедиции института работали во всех районах Средней Азии и Казахстана, а по мере роста авторитета школы в институт

Примерами направленной химической трансформации исходного природного вещества могут служить канцеростатик камптоцетин и его производное топотекан. Последний, приобретая с введением новых группировок более высокую растворимость в воде, уверенно начинает теснить своего «пращура» не только большей приспособленностью к инъекционному применению, но и повышенной активностью



камптоцетин



топотекан

стали поступать образцы растений-алкалоидоносов из Сибири, Монголии и с Дальнего Востока. В опытном цехе института не только проводились наработки крупных партий алкалоидов, необходимых для фармакологических исследований и клинических испытаний, но и разрабатывались производственные регламенты, предназначенные для передачи в промышленность. Можно смело утверждать, что с таким размахом в 1960–80-е гг. не работал ни один исследовательский центр в мире.

Среди ярких учеников Юнусова нужно отметить его сына, М. С. Юнусова, ныне академика РАН, занимающегося исследованиями так называемых *дитерпеновых алкалоидов* — веществ, которые продуцируются дельфиниумами и аконитами, относящимися к семейству лютиковых. Эти красивые растения распро-

по всей территории бывшего СССР, особенно в горных районах Средней Азии, Казахстана, Алтая, Западной Сибири, в Забайкалье и на Дальнем Востоке. Звездообразные фосфоресцирующие цветы дельфиниумов имеют такой глубокий голубой цвет, что, встречая их в горах, невольно думаешь о них как об одном из источников вдохновения знаменитого художника Рериха-старшего.

О лечебных свойствах дельфиниумов и аконитов издавна знали в Китае и Тибете. Но среди аконитов встречаются и далеко не безобидные виды: так, неосторожное обращение с корнями или надземной частью растений, синтезирующих алкалоид аконитин, может привести к отравлению и к смерти.

Однако дурная слава этих растений не только не оттолкнула, но, напротив, вызвала повышенный интерес исследователей, в том числе Юнусова-младшего, занявшегося разработкой на основе дитерпеновых алкалоидов кардиоактивных препаратов. В частности, было установлено, что самый доступный алкалоид *лаптаконитин*, содержащийся в ряде аконитов, обладает свойствами мощного антиаритмика. В результате в контакте с клиницистами школы академика Е. И. Чазова в медицинскую практику был внедрен препарат *аллатинин*, применяемый для лечения различных форм аритмии сердца.

Никаких проблем с растительным сырьем для производства этого препарата при надлежащей постановке заготовок в России нет. Так, исследованиями ботаников Уфимского научного центра РАН было показано, что только на территории Башкирии возможна экологически обоснованная заготовка корня аконита северного для получения ежегодно не менее 5 т алкалоида. Этого количества достаточно не только для обеспечения потребности здравоохранения России, но и для поставки на экспорт.

В химическом цехе Новосибирского института органической химии СО РАН было организовано первое в России опытное производство лаптаконитина из алтайских аконитов. В настоящее время исследователи НИОХ и Института органической химии Уфимского НЦ РАН разрабатывают на основе этого алкалоида антиаритмический препарат нового поколения.

Aconitum Barbatum Pers.

Борец бородатый

Geranium maximoviczii.

Герань Максимовича





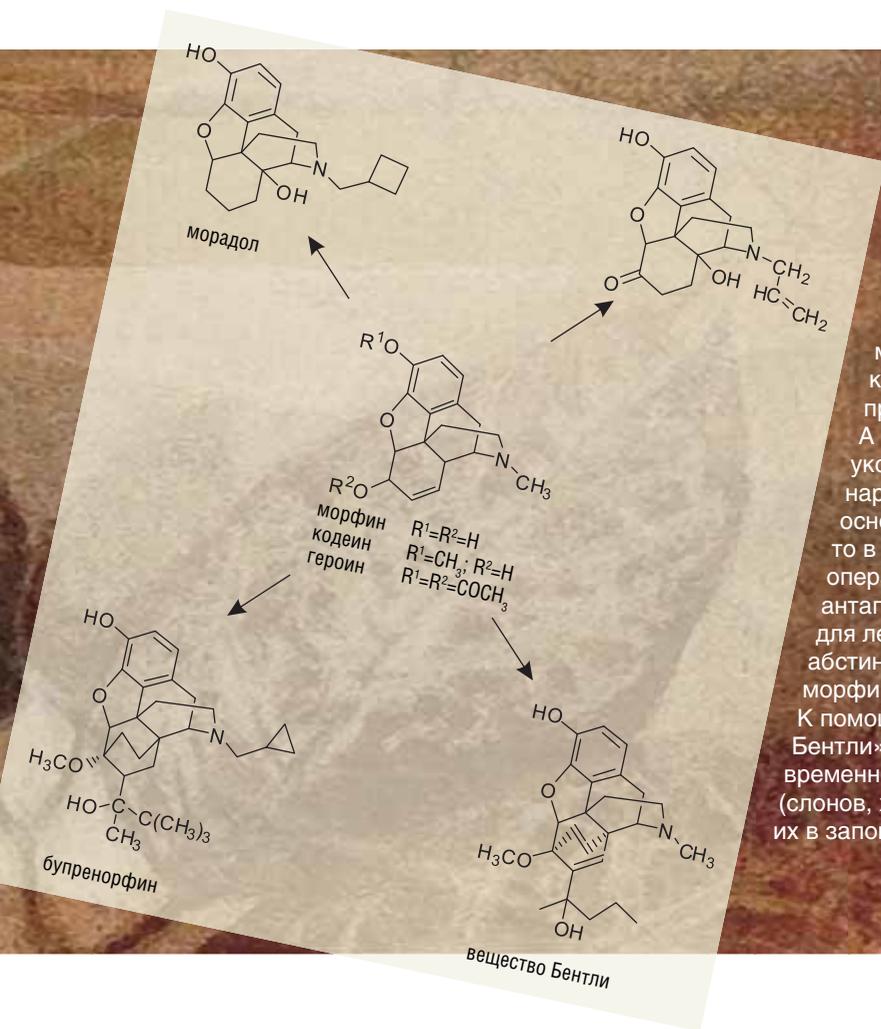
Geranium maximum Regel et Maack.

Академия наук СССР Сибирское отделение
ГЕРБАРИИ им. М. Г. ПОПОВА (г. Иркутск)

ран *Geranium flavoviridatum* Fischer
ex Link.

Местонахождение Иркутская обл., Казаньско-
Ленинск р-н, с. Казаньское

1977



На примере опиоидных алкалоидов можно продемонстрировать поистине драматические изменения фармакологических свойств при вполне невинном, на первый взгляд, изменении базовых молекул. Так, введение в молекулу морфина метильной группы приводит к образованию кодеина — компонента противокашлевого средства кодтерпина. А замена метильной группы на остаток уксусной кислоты дает зловещий предмет наркобизнеса — героин. Если оставить основной «скелет» молекулы нетронутым, то в результате проведения нескольких операций можно получить налоксон — антагонист морфина, используемый для лечения наркозависимости и снятия абстиненции — синдрома передозировки морфином.

К помощи опиоида, названного «веществом Бенгли», прибегают при необходимости временного обездвижения крупных животных (слонов, жирафов) при перемещении их в заповедники

Яд оказался лучшим наркозом

С исследованием алкалоидов связаны и многие другие памятные страницы истории химии минувшего века, причем немало из них заполнено благодаря деятельности советских ученых. В качестве примера стоит привести работы с кураре — ядом, который испанские завоеватели Южной Америки узнали в XVI в. Стрелы с ядовитыми наконечниками были оружием местного населения, причем поражение ими вызывало обездвижение или даже смерть. Способ получения яда индейцы тщательно скрывали, но сейчас известно, что кураре является сложной смесью веществ, получаемых экстракцией нескольких ядовитых растений. При этом физиологическая активность разных видов кураре значительно колеблется в зависимости от района производства.

При распознавании природы уникальной токсичности кураре ученые натолкнулись на большие трудности. Выделить в чистом виде главное действующее вещество кураре — *тубокурарин* — удалось только в 1935 г.

английскому химику Г. Кингу. Длительное время оно использовалось дополнительно к наркозу для более совершенного мышечного расслабления при полостных операциях.

Тщательное исследование физиологической активности тубокурарина привело к появлению в медицине такого понятия, как *курареподобные препараты*. Комбинация наркотизирующих средств с такими препаратами была признана одним из лучших способов хирургического наркоза. Но это означало зависимость от ненадежного рынка природного кураре. В результате сформировалось два подхода к решению проблемы: первый заключался в синтезе нужных алкалоидов, второй — в поиске структурных аналогов, обладающих необходимой активностью.

Синтез алкалоидов кураре увенчался успехом в результате блестящих работ школы профессора Н. А. Преображенского и его ученицы, члена-корреспондента РАН, Р. П. Евстигнеевой. Активное участие в мировой гонке по синтезу соединений с курареподобным действием принял коллектив химиков, который возглавляли академик РАН Н. К. Кочетков и профессор

А. П. Сколдинов. Результатом работ наших ученых стало промышленное производство оригинальных отечественных препаратов, для чего не потребовались многие годы и миллионы долларов — лишь государственный, по-настоящему «петровский», подход к делу.

Фитофармакология и государство

Проблемами, прямо или косвенно связанными с разработкой лекарственных препаратов на основе растительных метаболитов, занимались и продолжают заниматься многие ведущие химики-органики, фармакологи и клиницисты мира. В их числе целый ряд нобелевских лауреатов в области химии: Э. Фишер, Р. Кун, Л. Ружичка, Р. Робинсон. Впечатляюще выглядит и российский «пантеон», который украшают такие имена, как А. М. Бутлеров, Е. Е. Вагнер, отец и сын Арбузовы, Н. А. Преображенский и многие другие. В течение второй половины минувшего века неуклонно возрастало влияние на мировой научный процесс и исследователей из стран Азии и Южной Америки — регионов, богатых дикорастущей флорой и обширными плантациями культивируемых растений.

Излишне говорить о том, что путь к созданию клинически значимых препаратов с многомиллиардными продажами весьма долг, сложен и недешев. Вот почему препараты, отмеченные особым клиническим и коммерческим успехом, заслуженно становятся предметом гордости разработчиков.

В целом фитохимические исследования находятся «под крылом» крупнейших фармацевтических фирм мира. А в Китае к ним «прикладывает руку» государство, которое выдвигает весьма действенные программы общенационального значения, не пренебрегая при этом взаимовыгодными контактами с отечественным капиталом и с крупнейшими мировыми концернами. Мощное государственное финансирование имеют и национальные программы, созданные в США. Так, уже несколько десятилетий там действует Национальный институт рака (NCI). Исследователи из любой страны могут прислать в NCI для изучения как индивидуальные соединения, так и смеси веществ и экстракты растений, которые в первую очередь проверяются на цитостатическое и противовирусное действие.

В основу фитофармации в бывшем Советском Союзе был положен введенный еще Петром I госу-

дарственный подход к созданию лекарств. Наиболее последовательные исследования в области фитохимии и фитофармакологии проводились в институтах Дальневосточного и Сибирского отделений Академии наук, Академий наук Узбекистана, Казахстана, Грузии и Молдавии; огромная роль в развитии фитохимической науки и промышленности принадлежала отраслевым институтам. Важнейшим достижением фитохимической науки советского времени стало обращение к флоре не изученных огромных регионов Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и Средней Азии.

Исследователи руководствовались той идеей, что растительный мир страны, включающий дикорастущие, а также культурно возделываемые растения, является национальным достоянием, которым нужно пользоваться, не вредя ему, но умножая его. За короткое время в стране удалось создать четко работающую систему разведки, оценки запасов и заготовки



Aconitum rubicundum. Борец красноватый



Syn *Mentha haplocalyx* Briq.

M. canadensis L., 1757.

Usp. medic. abstr.

n. *suaveolens*,
deper. *complanata*

1891/2

Comp. J. K. S. S. S. S.
B. S. S. S. S. S.
D. S. S. S. S. S.

дикорастущих растений, организовать специализированные хозяйства по выращиванию ценных растений, построить фитопармацевтические предприятия.

К великому сожалению, известные события последнего времени привели налаженное дело в состояние коллапса. Запасы многих перспективных для фитохимической промышленности растений-дикоросов остались на территории стран СНГ; Россия лишилась практически всех предприятий фитохимической промышленности.

Конечно, можно подумать, что на фоне таких дел геополитического значения, как распределение энергоресурсов, рудного сырья и лесоматериалов, освоение растительных ресурсов для целей медицины является третьестепенным. К тому же, развитие химической науки и технологий привело к созданию огромного числа синтетических лекарственных препаратов на основе продуктов нефтехимии. В настоящее время в мире клиническую апробацию проходят около 200 препаратов на основе природных соединений и их полусинтетических производных, разработанных в лабораториях 50 фармацевтических фирм. Из этих препаратов растительное происхождение имеют 48.

Так может быть, интерес к растительным веществам должен уйти в прошлое и России вообще не стоит печалиться об утраченном? Однако самый беглый обзор состояния дел в этой области в мире не оставляет сомнений в том, что фитохимическое направление в медицинской химии и индустрии лекарственных средств не только не ослабевает, но постоянно крепнет.

Фотографии экспонатов гербария В. Короткоручко

Mentha canadensis. Мята канадская



Geranium krylovii.
Герань Крылова

Редакция благодарит за предоставленные иллюстративные материалы Гербарий Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (Иркутск)



БИБЛИОТЕКА
БУДУЩАЯ КНИГА

СЕРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ
продолжение

В поисках великой енгрии



Схема мироздания.
Бронза, VI—IX вв. н. э. Релкинский
могильник в Среднем Приобье
(Томская обл.)

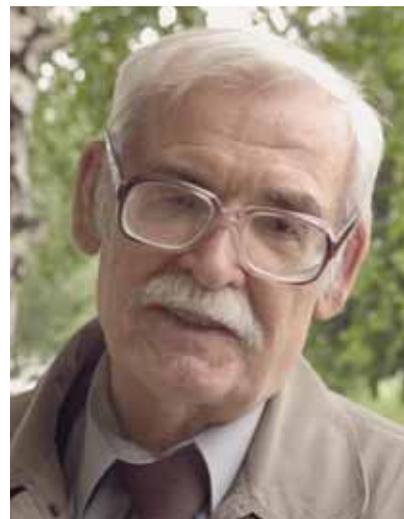


Культовое место Мис-хум-ойки. Фото А. Бауло

КОСАРЕВ Михаил Федорович — доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник Института археологии РАН (Москва).

Более 40 лет вел активные археолого-этнографические исследования. Опубликовал около 200 научных трудов, в том числе монографии «Древняя история Западной Сибири: человек и природная среда», «Язычество Сибири» и др.

Научным наставником М.Ф. Косарева был Валерий Николаевич Чернецов — выдающийся археолог, этнограф, лингвист, крупнейший специалист по древней истории Западной Сибири. В 2005 году научная общественность отмечала 100-летие со дня рождения ученого



Мы продолжаем публикацию отдельных глав готовящейся к изданию исторической повести М.Ф. Косарева «В поисках Великой Венгрии». Произведение написано в необычном для ученого литературно-художественном стиле. При этом автор стремится не отступать от исторической правды

...Шестнадцать веков отделяют нас от смутной поры тюркско-хуннских экспансий, вошедших в историю как Великое переселение народов. Участниками событий той драматической эпохи стали многочисленные древнеугорские племена, жившие в Западной Сибири. История по-разному распорядилась их судьбами. Южные угры (современные венгры, или мадьяры) были захвачены хуннами, перенесли немало испытаний, не раз стояли на краю гибели и, в конце концов, переселились на Средний Дунай. Северные угры, пройдя череду «расцветов» и «упадков», удержались на своей исконной земле — в таежном Обь-Иртышье и называют себя «ханты» и «манси».

В основу книги положена «биография» одного таежного древнеугорского рода ас-яхов (род медведей), вынужденного покинуть родные мес-

та. Люди стояли перед выбором: уйти на юг в поисках благодатных земель или остаться. Трагичность положения усугублялась тем, что они не могли знать наверняка, какой из этих путей ведет к спасению, а какой — к гибели. И нередко поступками племен и народов правил не столько разум, сколько необузданные страсти...

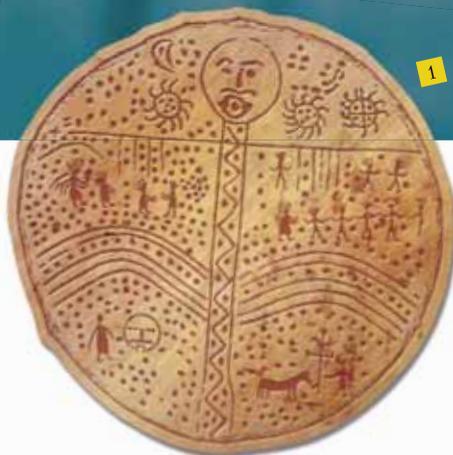
Книга наводит на мысль о цикличности исторических ситуаций. События давних веков во многом схожи с теми, что мы переживаем сейчас. Может быть, опыт прошлого предостережет нас от ошибок, допущенных нашими предками, и сделает более мудрыми. Во имя жизни...



Северные самоеды (касы)

Бронзовая фигурка шамана.
Первая половина I тыс. н. э.
Ерыкаевский клад (Кемеровская обл.)

Шаманские бубны: 1 — алтайский, 2 — кетский



Пушная пора

Ш есть дней никто не видел солнца, мир накрыла тяжелая свинцовая муть. Вода низвергалась сверху сплошным ливневым потоком. Стала выходить наружу подземная вода, образуя новые родники и источники, собираясь в урманных и луговых низинах новыми озерами. Все вокруг захлебывалось от избытка влаги. Казалось, верхние и нижние боги объединились в общем желании наслать на землю очередной Всемирный Потоп. Но утро седьмого дня встретило людей ясным небом, светлым солнцем. Снова открылась взору Божественная Долина, чистая, незамутненная, с темной синью озерных окон, с золотыми лесными островами.

Все знали, что за немногими погожими днями придут холодные ветры с мокрым снегом, а следом — долгая белопольная зима со злыми морозами. Боясь упустить время, Рач послал своих людей в Лайганское и Эмдерское селения известить о совместном молении об удаче в предстоящих зимних охотах.

Мужское население всех трех селищ прибыло к устью Лайгана, обозначавшему, как считалось, середину Эмдерского владения. Дальше поплыли совместно на другую сторону Эмдерской протоки, где в пяти полетах стрелы от пойменного берега вздымался к небу высокий материковый останец. Там обитал в своем заместительном теле Ене-ики —

Большой Старик, богочтимый предок, бывший в своей первой земной жизни великим шаманом, а после смерти удостоенный по милости верхних богов звания Духа.

Ас-яхи приравнивали Ене-ики по силе и величию к богатырскому богу Паирахте и часто называли Орт-ики — Князь-Старик, хотя богатыри, слыша об этом, недовольно морщились. Тем не менее, высокородное эмдерское семейство не противодействовало кощунственной подмене, справедливо полагая, что их великий небесный отец одинаково равнодушен как к приязни простолюдинов, так и к их неприязни, если бы кто-либо

из низкороденных осмелился ее проявить.

Перешли прибрежную согру, затем по пологому склону дикий буреломный лес. Двигались молча, ведомые Рачем, лучше других знавшим расположение ловчих ям и самострелов, охранявших подступы к жилищу кумира. Наконец глазам идущих предстала беломшанная дюна, поросшая чистым борovým лесом. На гребне — гигантская сосна. Под ее сенью приютился бревенчатый домик на высоких столбчатых ногах. У подножия лестница — бревно с семью зарубками-ступенями. Трижды поклонились жертвенному дереву и священному жилищу. Прислонив лестницу, Рач и Гында поднялись наверх, к богочтимому духу.

Идол стоял на дощатом возвышении у передней стены. Невысокий, в два локтя. В железной шапке и большеразмерном халате с подвернутыми полами. Непомерно длинные рукава свешивались с помоста до самого пола. Над резными овалами глаз крутое надлобье, отягощенное широким плоским носом без переносицы. Рот выглядит третьим глазом и обозначен таким



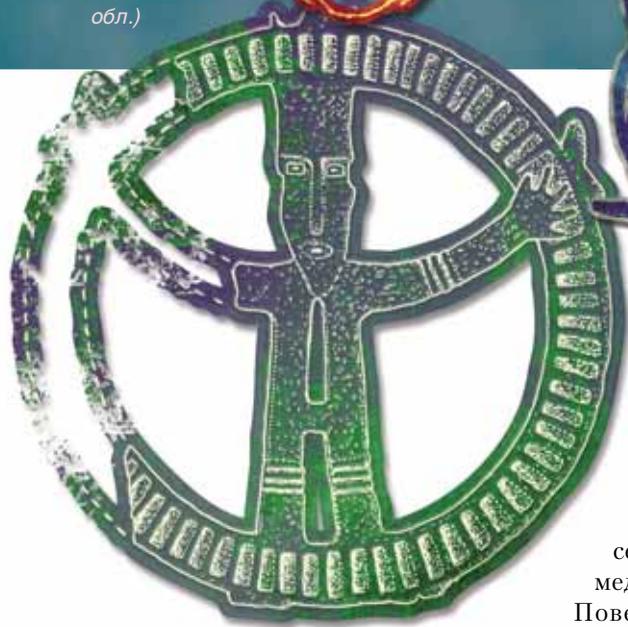
Бронзовая фигурка шамана. На рубеже эр. Река Напас (Томская обл.)

Убитый обско-угорский богатырь. Гравировка на блюде. Вторая половина 1 тыс. н.э. Река Сосьва (Свердловская обл.)

Сова. Наскальный рисунок. Хронологическая принадлежность неясна. Писаница на реке Томи (Кемеровская обл.)



Древние изображения медведя:
1. Хронологическая принадлежность неясна. Томская писаница.
2. Гравировка на бронзовой бляхе. На рубеже эр. Тюменская обл.



же поперечным овалом. В помост-престолье воткнуто несколько железных ножей. Здесь же две деревянные чаши с разложившейся от давности жертвенной кровью.

Пока люди ломали сухостой для костра, Рач с Гындой переодели идола. Сняли железную шапку, халат. Когда развязали последнюю опояску, из-за пазухи на престолье и жердяной пол со звоном посыпалось мелкое медное литье: кольца, бляхи, наконечники стрел, фигурки животных, птиц. Ене-ики предстал во всей своей неприглядной древесной наготe: остроголовый, руки — короткие беспальные обрубки, внизу невысокий срединный вырез, разделяющий ноги, под животом — толстый прямой сук, изображающий мужской детородный пест.

Голого истукана одели в чистый красный кафтан, опоясали новыми шелковыми лентами. Собрали с пре-

столя и пола выпавшие при переодевании вещи, вернули за пазуху, присо-вокупив пару серебряных серег, серебряный перстень, медный наконечник стрелы.

Повесили на боковую стену соболю, кунью шкуры и лисьи: две красные, одну черную. Взяв прежний халат со старыми опоясками, спустились вниз.

Гында и еще один ас-ях подвели к дереву упирающегося оленя, повернули на полдень. Рач, завершив молитвенные призывы, махнул помощникам рукою. Те привычно и споро совершили требуемое обычаем жертвенное заклятие...

Вываленные в берестяные судки внутренности испускали пар и запахи крови. Прежде чем дать знак к началу сыроядения, шаман взял две чаши, покрошил туда кусочки легкого, печени, почки. Из одной покормил огонь, другую опрокинул на комель священного дерева. Наполнил третью чашу, отнес в жилище Орт-ики. Обмакнул пальцы в кровавое месиво, умастил рот и лицо кумира.

После жертвенной трапезы повесили на ветвь сосны оленью шкуру, снятый с идола халат, ленты. Пок-

лонившись дереву, огню и жилищу духа, Рач передал просьбы и желания собравшихся:

— Живущий в светлом мире Ене-ики, славный родоначальник, добрый покровитель! Мы принесли тебе посильные дары, насытили жирным мясом, красной кровью, почтили своими восхвалениями. Сделай обильным зимний промысел. Пусть урманы не скудеют мясным и пушным зверем. Пусть наши мужчины будут удачливы в охоте.

Два дня спустя, опережая ледостав, старейшины, заранее договорившись меж собою, отправились в Эмдер-вош условиться насчет княжеской пушной доли. В разные годы она колебалась сообразно численности зверя и в соответствии с даруемой богами удачей. В средний по добычливости год на каждый лук полагалось девять соболей. Соболий взнос можно было заменить бобровым из расчета один бобр за три соболя, беличьим — семьдесят белок за соболя, куньим — две куницы за соболя, красной лисою — две за соболя, черной лисою — одна за два соболя. В хорошие годы княжеская доля возрастала до двенадцати соболей на лук, а то и более.



Глиняная посуда из погребений южноугорской знати. II—IV вв. н.э. Сидоровский могильник в Среднем Прииртышье (Омская обл.)

После гибели Ендыра и троих других братьев-богатырей в Эмдерском владении княжил молодой Яг. Старейшины просили его положить семь соболей на лук, ссылаясь на неурожай ореха и лиственничной шишки. Яг согласился не споря, и стариков несколько удивило равнодушие Яга к своей выгоде. Они объяснили это горестным потрясением в связи с гибелью эмдерской богатырской семьи.

Как только снежный покров окончательно утвердился на земле, мужчины уложили на нарты охотничью снасть, пищевой запас, стали на лыжи и, волоча санную поклажу, отправились лесовать в дальние урманы. С ними ушли все собаки, кроме не искушенных в охотничьем деле недорослей и старых, теряющих нюх псов. Ас-яхские собаки умели не только выслеживать и держать дичь. Они извещали о грозящей опасности, отгоняли злых духов, защищали хозяина от хищного зверя, согревали его в холодных ночевках, помогали тянуть тяжелую санную поклажу.

Из селения леулцы вышли в две стороны: одни направились к северу, вдоль борового берега Эмдерской протоки, другие, в их числе Ортан с братьями, — на запад, в урманную глубь, примыкающую к стране махумов. С сыновьями шел старый Рач. Предполагалось, что он будет

Ритуальная
пляска обско-
угорских воинов.

В центре — фигура богатыря-военачальника. Гравировка на дне серебряного ковша. Вторая половина I тыс. н.э. Коцкий городок (Тобольская губ.)

с ними лишь первые десять-двенадцать дней — только до окончания бобровой охоты. Этот промысел требует особого умения, и старик опасался, что без его помощи не умудренные должным опытом сыновья не смогут перехитрить умных бобров.

Сначала все были в одной веренице, потом от нее стали отрываться по трое-четверо охотников — те, кому подходила пора торить лыжню к своему семейному охотничьему угодию. К концу второго дня строго на запад, в сторону Каменного Пояса, шло лишь семейство Рача — переднее звено распавшейся цепи.

Вечер тихий, безветренный. Мороз теснит дыхание, склеивает инейным наростом брови и ресницы. Рач выбрал поляну для ночлега — старую гаревую плешь. Велел свалить пару сухостойных сосен, разрубить на бревна. Устроились меж пламенеющих длиннобровных кладок, пожевали строганину, запивая из куженьки топленой снеговой

водой. Завернулись в меховые одеяла, но уснуть не довелось.

В звездной дали все ярче и шире разгорался прекрасный и страшный небесный костер. Он надвигался с полуночной стороны, медленно, неотвратно. Сначала на краю неба высветилась зеленоватая дуга, заключившая в себя непроницаемую тьму, и это был вход в Преисподнюю. Дуга делалась все ярче, радужнее, потом выбросила к югу длинные светло-зеленые лучи, концы которых зажгли широкую колеблющуюся ленту. Дуга и лента заполнили северную часть неба, протянули вперед новые лучи. Лента колыхалась многоцветным занавесом, переливалась шевелящимися складками, закручивалась немислимыми спиралями, истончалась, разрывалась на легкие туманные куски, сквозь которые начинали мерцать звезды. Но внезапно все сверху вспыхивало с новой силой, расцветивалось чарующими живыми красками, текло на юг сплошной огненной рекой, одновременно приближаясь к земле, и казалось, верхний огонь вот-вот сольется с пламенем земного костра. Но сияние отдалялось, бледнело, таяло, открывая звезды, и вдруг под дуновением невидимого небесного ветра опять загоралось божественными огнями, все снова приходило в движение, дышало и цепенело, рождалось и умирало...

Охотники лежали, скованные сладостным ужасом, уверенные, что стоит на мгновение закрыть глаза, и небесный огонь тотчас коснется

Заяц. Бронза. Объемное литье.
В натуральную величину. Около VI—IX вв. н. э.
Архирейская заимка близ Томска



их, и вслед за этим все живое навсегда растворится в пламенеющей вселенской бездне. Небо погасло с наступлением рассвета. Путники спешно покинули колдовскую поляну, притянувшую к себе сокровенное знамение иных миров...

Шли молча, лишь скрип снега нарушал тишину еще спящего леса. Прямо из-под ног, взметая снег, вырвалась стая белых куропаток. Тяжело хлопая крыльями, скрылись в густохвойной чаще. Тут же из ближнего куста выскочил заяц, спросонья прыгнул прямо на людей, метнулся в сторону, налетел на ель. Совсем ошалев от ужаса, перемахнул через Ваяха, стреканул в ту же кустистую поросль, где тайлся раньше. Собаки запоздало взлаяли, кинулись следом, но, устыдившись своей растерянности, остановились, виновато виляя хвостами. Дальше шли легко, ходко, с разговорами. Рач выразил уверенность, что при столь резвом ходе придут к зимовью в середине дня.

Шелохнулась еловая кисть, на-земь просыпался снег. На буровато-серый ствол выскочила белка. Красиво изогнувшись, повернула голову к идущим. Одноухий Ваях с лаем бросился к дереву. Орган сердито окликнул его, пес обидчиво взвизгнул, вернулся назад, недоумевая по поводу странного поведения хозяина. Старые собаки, не раз ходившие на зимний промысел, вопросительно взглянули на охотников и, догадавшись, что те по каким-то причинам решили пощадить рыжую хлопотунью, стали обнюхивать чей-то стершийся след, как будто

происходившее наверху было им совершенно безразлично. Может, вспомнили, что по законам людского племени, по пути в бобровое селение нельзя обижать встречаемых зверей: бобры, проведая о чинимых обидах, сразу поймут, что идут плохие люди с худыми намерениями. И тогда не будет хорошей охоты.

Между тем, белка, угадав мирный настрой непонятных двуногих существ и их лохматых волкоподобных спутников, выглянула из-за ствола. Орган приотстал, любопытствуя, что будет дальше. Пробежалась по развесистой лапе. Села в конце, подняла султаном хвост, покачалась, роняя снег. Вернулась к основанию ветви. Уселась на задние лапки, умылась, погрозила передней. Сверкнула бисеринками глаз, метнулась по стволу вниз. У комя резко повернулась, хоркнула и, расстилая хвост, понеслась обратно. Скрылась в густой хвойной зелени, уже невидимая, швырнула в Органа шишкой. Зацокала сердито, давая понять, что представление закончено и назойливому зрителю пора идти своей дорогой.

Живя на дереве, высоко от земли, в преддверии неба, белка более других земных тварей способна угадывать волю богов. Зная об этом, ас-яхи внимательно наблюдают беличью жизнь, отчего извлекают для себя немалую пользу.

Приметив, что белка устраивает гнездо выше обычного, тотчас смекают: предстоящая зима будет бурная, многоснежная. Когда основывает свой приют низко от земли, надо ожидать малоснежную зиму. Если утепляет жилье с особым тщанием, следует готовиться к суровой зиме, с долгими холодами и трескучими морозами.

В местных урманах водилась преимущественно рыжая белка. Но встречалась темная и серая. Последняя ценилась выше других. Незрячий Нах сказывал, что родом она из Страны Золотых Гор и посещает ас-яхские края не от нужды, а из любви к дальним странствиям. Но попав на чужбину, начинает тосковать по родине и вскоре возвращается обратно. Земля там достигает неба и любима богами. На золотогорном поднебесье, в Начале Начал, бьют источные струи Оби, Иртыша и других великих рек. Люди той страны не знают голода и черных болезней. Каждый выбирает себе занятие по душе: одни пасут копытный скот, другие возделывают землю, третьи охотятся на лесного зверя, четвертые извлекают из горного нутра золото, серебро, железо, медь и оловянный камень. Лесные угры называют эту страну Мортим-ма, но никто из них там никогда не бывал.



Оснащение древнего охотника.
В уменьшенном виде.
Конец I тыс. до н.э. —
первая половина I тыс. н.э.
Усть-Полуйское городище
в низовьях Оби
(Тюменская обл.):
1 и 2 — железные ножи
с костяной рукоятью;
3 — железная рогатина
на деревянном древке

Дважды пересекали чистую строчку собольего следа. Видели и самого соболя, мелькнувшего темной молнией по гребню длинной колодины. Впереди, пересекая путь, проскакал ушастый беляк, следом меж кустами мелькнула огненно-рыжая спина. Заметив людей, лиса приостановилась, повернулась белой грудкой и, махнув хвостом, скрылась среди деревьев.

На соседней поляне путаные печати лисьих лап, разрытый местами снег. Все ясно: мышковала здесь, пока пробегавший мимо заяц не отвлек от привычного утреннего занятия. Около одной ямки валялась задушенная ласка — главный соперник лисы в охоте за мышами. Белой змеею вьется ласка по подснежным мышиным ходам, и ни одна гуляющая по ним полевка не уйдет от такого охотника. Сегодня маленькой хищнице не повезло. Уснув после сытного завтрака в снежной пещерке, попала в лапы более сильного хищника.

Ас-яхи не бьют ласку: шкурка ее слишком мала, тонка, не обладает должной прочностью, но зверек считается весьма полезным. Люди бывают довольны, если ласка поселяется под полом их жилища или

полянках заискрился под солнцем, по белому полю пролегли серые тени. Неугомонный Ваях рванулся в сторону, суетливо закружил вокруг одиночной лиственницы. Сел, уставясь вверх, заерзал хвостом по неслежавшемуся порошисту снегу. Нетерпеливо взлаивал, оглядываясь на охотников. Из-за приствольной ветки настороженно смотрели вниз черные недобрые — хищные глаза. Плоская головка, округлые ушки, желтое пятно под горлом.

Куница — гроза боровой дичи, самый злобный и жестокий зверь в тайге, превосходящий кровожадностью даже соболя. Неустанно рыскает верхом и низом, истребляет в гнездах неоперившийся птичий молодняк, выпивает яйца, скрадывает на ночевках взрослых

а м б а р а . В этих случаях мыши, расхищающие пищевой запас и портящие меха, умеряют свои бесчинства.

Лес поредел, снег на полянах заискрился под солнцем, по белому полю пролегли серые тени. Неугомонный Ваях рванулся в сторону, суетливо закружил вокруг одиночной лиственницы. Сел, уставясь вверх, заерзал хвостом по неслежавшемуся порошисту снегу. Нетерпеливо взлаивал, оглядываясь на охотников. Из-за приствольной ветки настороженно смотрели вниз черные недобрые — хищные глаза. Плоская головка, округлые ушки, желтое пятно под горлом.

птиц — рябчика, куропатку, тетерею, глухаря. Схватив жертву, перегрызает затылок и, прежде чем съесть, выпивает теплую кровь. Не любит строить собственных гнезд, а скитаясь по округе, ночует то в беличьем, то в птичьем гнезде, предварительно сожрав хозяев. Если бы боги создали куницу величиною не с соболя, а с рысь или росомуху, не было бы в тайге страшнее зверя. И беспощаднее.

Охотники порой встречают ее в не подходящих для этого зверя местах: среди болот, на безлесных речных островах. Случается так потому, что куница, вцепившись в спину спящего глухаря, принуждает того взлететь и нести ее на дальнейшее расстояние — до тех пор, пока выбившаяся из сил птица не падает где-нибудь в незнакомом месте, чтобы составить обед неблагодарному седоку.

Орган окликнул упорно сидящего под деревом Ваяха, и пес нехотя последовал за ним. Подобная строптивость, обычная в собачьей молодости, не внушала опасений. Орган знал: проведя зиму в лесу с охотниками в опытном собачьем окружении, Ваях станет настоящим охотничьим псом, достойным сыном своего отца Елтампа.

Ни у одного таежного народа не было собак, превосходящих в охотничьем умении ас-яхских псов. Они обладали хорошим слухом, чутким обонянием, острым зрением. Были послушны, умны, преданны. Гнали по черностопу и белотропу в нужное охотнику место оленя и лося, держали, сколько потребуется, на

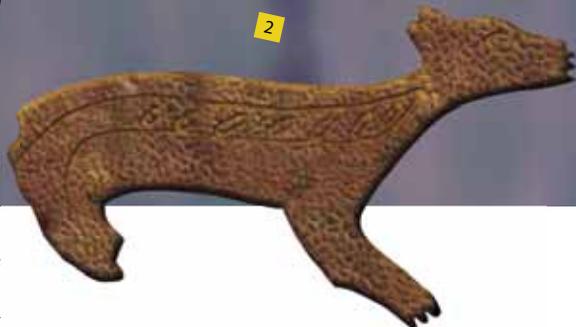
Промысловые пушные звери. Бронза.

Объемное литье. В натуральную величину:

1. V/VI—IX вв. н. э. Релкинский могильник в Среднем Приобье (Томская обл.).

2. Около IV—V вв. н. э.

Парабельский клад (Томская обл.)



доступной выстрелу высоте пушную и пернатую боровую дичь. Не кидались к дереву с безудержным лаем, а старались не спугнуть, не обратить в бегство. Сев на снег и неотрывно глядя на затаившуюся жертву, коротко потягивали, призывая хозяина.

Лес расступился, открыв долгожданное зимовье. Не дойдя нескольких сажений, остановились, откинули на спины наголовники малиц. Рач приблизился к бревенчатому строению, трижды обошел вокруг — по ходу солнца. Отстукал лыжным посохом углы, попросил:

— Теперь уходите, это наш дом, мы тут жить будем.

Уйти должны были духи, занявшие зимовье, пока оно пустовало, ибо дом без обитателей все равно что человек без души. Люди были благодарны духам за то, что поселившись здесь в их отсутствие, не дали жилью умереть, и те обычно без сопротивления уступали его новым постояльцам.

Почти половину помещения занимали широкие нары. Под потолком на ремнях две жерди для сушки одежды. В переднем углу — полка. Войдя, поставили на нее сундучок-корневатик со священными принадлежностями. Пока Орган ломал дрова, а отец разводил огонь в очаге, Нарма и Ветлули, взяв роговую пешню, пошли к речке долбить прорубь. Оживив очаг, Рач послал младшего сына городить укрытие для собак. Вернулись Нарма и Ветлули. Принесли воду в туссах и ледяную пластину для оконной дыры.

Утром Рач повел сыновей в бобровое селение. Взяли все четыре нарты, положили меховую постель, топоры, пешни, рогатины, еду на десять дней. Каждый нес в руке три прутика — березовый, осиновый, таловый. Временами Рач вопрошал идущих:

— Куда лежит наш путь?

— Мы идем с гостинцами в дружественное селение, где живет славный бобровый народ! — хором отвечали сыновья.

Своим образом жизни бобры сродни людям и даже превосходят их во многих умениях. Запруживают реки и поддерживают их на нужном уровне. Устраивают под водой склады древесного корма, спускаются к ним зимою через норы, идущие из нижней части жилища. Легко валят деревья, распиливают на бревна и, оценив их достоинство, доставляют либо к плотинам, либо к жилью, либо к пищевым кладовым. Дома их много крепче и неприступнее ас-яхских, ибо бобры искуснейшие строители.

Орган слышал от старших, что бобры любят ходить друг к другу в гости, празднуют свадьбы, делают своим детям деревянные игрушки, изготавливают всякую домашнюю утварь. Хоронят сородичей на особых бобровых кладбищах. Не-

Бобр. Гравировка на бронзовом зеркале. В несколько увеличенном виде. На рубеже эр. Истяцкий клад на реке Вагай (Тюменская обл.)

редко воюют между собою и договариваются о мире. Имеют рабов. Бывалые охотники легко отличают их от других бобров по чрезмерной худобе и сильно потертой спинной шерсти. Но в стариковских рассказах очевидное переплеталось с невероятным, прямое слово — с иносказанием, и никто из ас-яхов, слушая их, не мог определить, где кончается быль и начинается небыль.

Шли полдня вдоль Мах-еги. Прямее было по речному льду, но он был еще непрочен и в самых надежных местах едва достигал двухвершковой толщины. Выбрали место для лагеря и, бросив здесь часть имущества, перешли на бобровый берег. Куполообразное жилище прилепилось к толстому старому дереву с выпирающими наружу корнями, слилось с комлем и корневым переплетением в единое



Бегущие лоси.
В уменьшенном
виде.
Хронологическая
принадлежность
неясна. Томская
писаница
(Кемеровская
обл.)



целое. Ширина купола в основании не менее четырех сажений, высота на голову превышала рослого не по ас-яхски Ортана. Сложенная из разновеликих коряжистых бревен, скрепленная вязкой илистой грязью, бобровая юрта и летом была недоступна никакому зверю, даже медведю, а зимою, скованная морозом, не уступала твердостью камню и железу. Склонив голову в приветственном поклоне, Рач сказал:

— К бобровому народу люди ас-яхской земли в гости пришли. Никуда не уходите. Ждите нас.

После такой речи бобры, чуящие правила гостеприимства, не могли покинуть дом в течение семи дней. Старик спустился обратно на лед, долго ходил вдоль берегового склона, выискивая по одному ему известным признакам, где подо льдом выходят в воду тайные подземные лазы.

Весь следующий день заготавливали колья, жерди. Рач наметил две линии — справа и слева от бобрового дома: здесь речку должны пересечь по дну два словых ограждения, чтобы бобры не ушли через запасные норы к дальним польньям и застрехам. Закончив с городьбою,

подня скальвали в прибрежье лед, от частокола до частокола. Пристроили к обнаруженным лазам полукруглые заборы-котцы из кольев, удалив предварительно оттуда весь бобровый корм. Когда вода в котцах подернулась льдом, пробили в нем маленькие дырки, вставили свежесрезанные ивовые прутики. Наутро извлекли наружу и убедились, что все объедены, значит бобры не покинули свое обиталище.

После этого сторожили котцы неотрывно, при рогатинах, разводя ими рождающуюся на поверхности ледяную пленку. Бобры вышли ночью при свете полной луны. Их обнаружили по всплескам и шатанию котцовой загороди. Пока убегающий старик-самец мешкал у лаза, пытаясь пропустить впереди себя супругу, Нарма и Ветлули закололи их рогатинами.

Утром разобрали котцы и положили добычу на нарты, брюхом вверх, чтоб не вышла священная бобровая струя. В зимовье прибыли через пять дней, добыв еще двух бобров.

Рач не торопился обратно в Леулпугл. Помог сыновьям отладить охотничью снасть, выбрать места для ловушек. Осмотрел наличный

запас стрел. Преобладали беличьи — томары, пригодные также на соболя, куницу, горностая и другого мелкого пушного зверя. Вместо острия беличьего стрела оснащена тяжелым тупым набалдашником из капа или кости, чтоб не дырявить шкурку. Добывали белку между делом, при обходе ловушек, когда облаиваемый псом зверек открывался на дереве для верного убоя. Во всех других случаях от тупоголовой беличьей стрелы мало проку: недальнобойна, с трудом находит дорогу в густохвойном верху. Крепкая на удар зимняя белка часто успевала, падая, зацепиться лапкой за ветку, и достать ее в хвойной гуще с помощью шеста или второй тупой стрелы было весьма трудно, а то и вовсе невозможно.

Самая удобная и добычливая охота — ловушкой. Берут два половинных бревна. Первое кладут плоскостью вверх, второе на него, плоскостью вниз. Приподнимают конец верхней плашки, закрепляют на легкой опоре. Привязывают к последней гриб, кедровую шишку или иное беличье лакомство. Белка хватается приманку, нарушая устойчивость сооружения. Верхняя

Костяные наконечники стрел.
В натуральную величину. I тыс. н.э.
Усть-Полуйское городище в низовьях Оби
(Тюменская обл.)



Деревянная стрела с тупым наконечником (томар). В уменьшенном виде. Этнография

плашка падает на нижнюю, прихlopывая доверчивого зверька.

Соболя тоже порою давила коварная беличья ловушка. Чаще же таежного красавца подстерегают на снегу и гонятся по следу с собакою, пока увертливый хищник не юркнет в корневую щель или под колодину. Тогда ставят у выхода нитяную сеть. Устав от долгого сидения, зверь выбегает на волю, запутывается в ней, и тут надо немедля убить его, иначе вмиг разгрызет некрепкие ячеи, и изнурительная гонка повторится сначала. Если соболя долго отсиживается в своем убежище, можно выкурить дымом.

Кунцу, предпочитающую ходить верхним путем, преследуют по рони — роняемым ею с веток хвоям и снегу, который, падая на свежую порошу, делает едва заметные ямки, указывающие направление верхнего следа. Если кунце наскучит верхний бег, и она затаится в дупле или в беличьем гнезде, можно выманить ее, постукав лыжным посохом по стволу дерева. В конце концов, зверь, отчаявшись уйти верхом, переходит на нижний путь, и тут бдительный пес настигает его.

Завершив все дела, Рач собрался в обратную дорогу. Прощаясь у зимовья, давал последние советы:

— Если лось перейдет соболю тропу, не сбивайтесь на лосиную дорогу, потому что собаки станут терять старый след на перепутьях и впредь не добудут ни соболя, ни лося.

Не пускайте собак по росомашьему следу, ибо этот зверь нечист и презрен богами. Окруженная псами, она не вступает в честный бой, а испускает столь мерзкое зловоние, что собаки бегут от нее с жалким визгом и с той поры утрачивают смелость, глаза их теряют зоркость, а нос перестает ощущать запахи.

Однако если увидите это зловонное существо рыскающим вокруг лабаза, сразу убейте, иначе пищевой запас будет частью расхищен, частью изгажен.

Убив презренного зверя, не пренебрегайте его шкурою. Она обладает столь великой крепостью, что ни собака, ни волк не в состоянии прокусить ее...

Сыновья стояли в почтительном молчании, хотя слышали подобные наставления не первый раз. Закончив, отец махнул рукой и, не

оглядываясь, заскользил на восход, в сторону селения. Превжний след замело снегом, и старик шел пока по своей вчерашней лыжне, проложенной в поисках заячьей тропы. Впереди из кустарника взлетело несколько ворон. Покружившись, выжидательно уселись на мертвую лиственницу. Рач, оставив сани с поклажей, спустился в знакомую низинку, густо заросшую молодым ивнячком. Вынул из настороженной вчера петли мертвого зайца с выпученными глазами и проклеванным боком. Вернувшись к нарте, сунул под перевязочный ремень. Немного спустя увидел висящего в силке рябчика, но прошел мимо, надеясь, что замеченная им добыча останется в сохранности до очередного обхода ловушек сыновьями.

На третий день к вечеру обстукивал лыжи у порога своего жилища.



Фото В. Короткоручко