

Познавательный журнал для хороших людей

# НАУКА

из первых рук

2 <sup>(3)</sup> декабрь 2004



ПРИРОДА —  
*первый генный*  
ИНЖЕНЕР

ЖИЗНЬ  
НАЧИНАЛАСЬ  
С РНК

ВАКЦИНЫ  
ЗАВТРАШНЕГО  
ДНЯ

МОРКОВКА  
ВМЕСТО  
КАПЕЛЬНИЦЫ

МЫСЛИ  
О ТОФАЛАРСКОЙ  
ГЛИНЕ



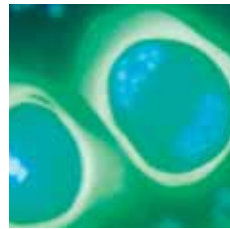
ISSN 1810-3960



9 771810 396003 03



1797 г. Английский врач Эдуард Дженнер провел первую вакцинацию (против натуральной оспы)



1865 г. Австрийский монах Грегор Мендель сформулировал основные законы наследственности



1906 г. Английский генетик Уильям Бэтсон дал имя новой науке о наследственности и изменчивости — «генетика»



## .01

### ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

#### Происхождение и эволюция жизни на Земле

- 6 **В. Власов, А. Власов**  
Жизнь начиналась с РНК
- 20 **С. Инге-Вечтомов**  
Поиски периодической системы... в эволюции
- 26 **С. Шестаков**  
Трансгенные родственники  
**Природа — первый генный инженер**
- 32 **В. Шумный**  
ПРИРОДА была первым генным инженером
- 40 **Е. Дейнеко**  
Легко ли быть Создателем?
- 48 Морковка вместо капельницы
- 56 **С. Щелкунов, Р. Салаяев**  
Вакцины завтрашнего дня
- 62 **Д. Дорохов**  
Биобезопасность: взгляд профессионала

## .02

### ИСТОРИЯ НАУКИ

- 72 **В. Шумный, Л. Овчинникова**  
«Русский след» в открытии структуры ДНК

## .03

### ПРИРОДНЫЕ ФЕНОМЕНЫ СИБИРИ

- 82 **Я. Клеркс**  
Газогидраты пресноводного «океана»
- 92 **Л. Суханова**  
Байкал — омулевая бочка
- 96 **Н. Мельник**  
Ракообразие байкальских вод

1927 г. Русский генетик Николай Кольцов выдвинул предположение о матричном принципе воспроизведения хромосом



1953 г. Англичанин Френсис Крик и американец Джеймс Уотсон расшифровали структуру ДНК



1983 г. Группами ученых из разных стран созданы первые трансгенные растения

1992 г. В Китае начали промышленно выращивать трансгенный табак, устойчивый к насекомым-вредителям

1993–94 г. На прилавки магазинов допущены продукты, содержащие генетически измененные растительные компоненты

## .04

### БИБЛИОТЕКА Золотая полка

- 114 **Георг Вильгельм Стеллер**  
Описание города Иркутска и окрестных местностей.  
*Перевод и публикация А. Элгерта*
- А. Панфилов**
- 124 Идущий за горизонт, или Молитва о преодолении
- 134 **В. Хинтше**  
О проекте публикаций по истории Сибири

## .05

### ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ

- 136 **К. Банников, Е. Кузнецова**  
В бесконечности невоплощенных смыслов: мысли о тофаларской глине

## .06

### ДЕТСКАЯ СТРАНИЦА

- 150 **И. Захаров**  
Этот преданный преданный друг человека

1995 г. Создана первая кандидатная вакцина (против гепатита В) на основе трансгенных растений картофеля

2003 г. Посевные площади, занятые сельскохозяйственными ГМ-культурами, достигли 67 млн га



Дорогие друзья!

Главной темой нового выпуска журнала стали генетически модифицированные организмы (ГМО). Основное внимание уделено генной инженерии растений. Этот акцент сделан не случайно — вопросы биобезопасности продуктов питания, полученных из трансгенных растений, являются предметом широкого обсуждения.

Наш читатель сможет узнать, как «появляются на свет» трансгенные растения, познакомиться с природным генным «умельцем» — агробактерией; проникнуть в такую малоизвестную область, как создание «съедобных» вакцин и растений, синтезирующих фармацевтические белки; отправиться вместе с учеными на Дальний Восток за дикой родственницей трансгенной сои. Наши авторы — известные российские генетики — помогут читателям разобраться в смеси слухов, небылиц и невежества, так часто окружающей проблему ГМО. Материалы этого выпуска подготовлены при участии одного из наиболее авторитетных специалистов в области генетики растений академика В. К. Шумного, чей вклад в подготовку этого номера и в целом в проблему трудно переоценить.

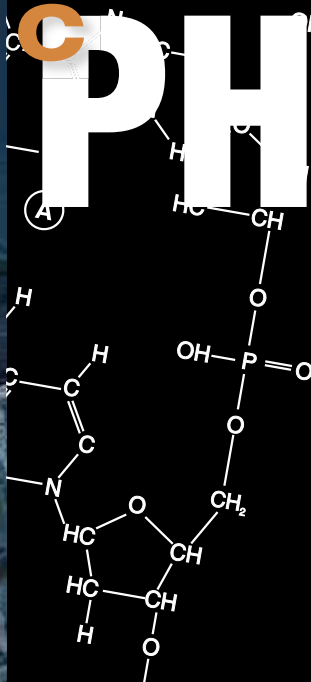
Невозможно в одном выпуске журнала охватить все успехи и проблемы современной генной биотехнологии. Но все же мы попытались донести до читателя главную мысль — что трансгенез является естественным и широко распространенным, более того — эволюционно значимым процессом. Ведь первым «генным инженером» была сама Природа...

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Cyrillic letters, likely 'Н. Л. Добрецов'.

академик **Н. Л. ДОБРЕЦОВ**,  
главный редактор

ПРОИСХОЖДЕНИЕ  
и ЭВОЛЮЦИЯ  
ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

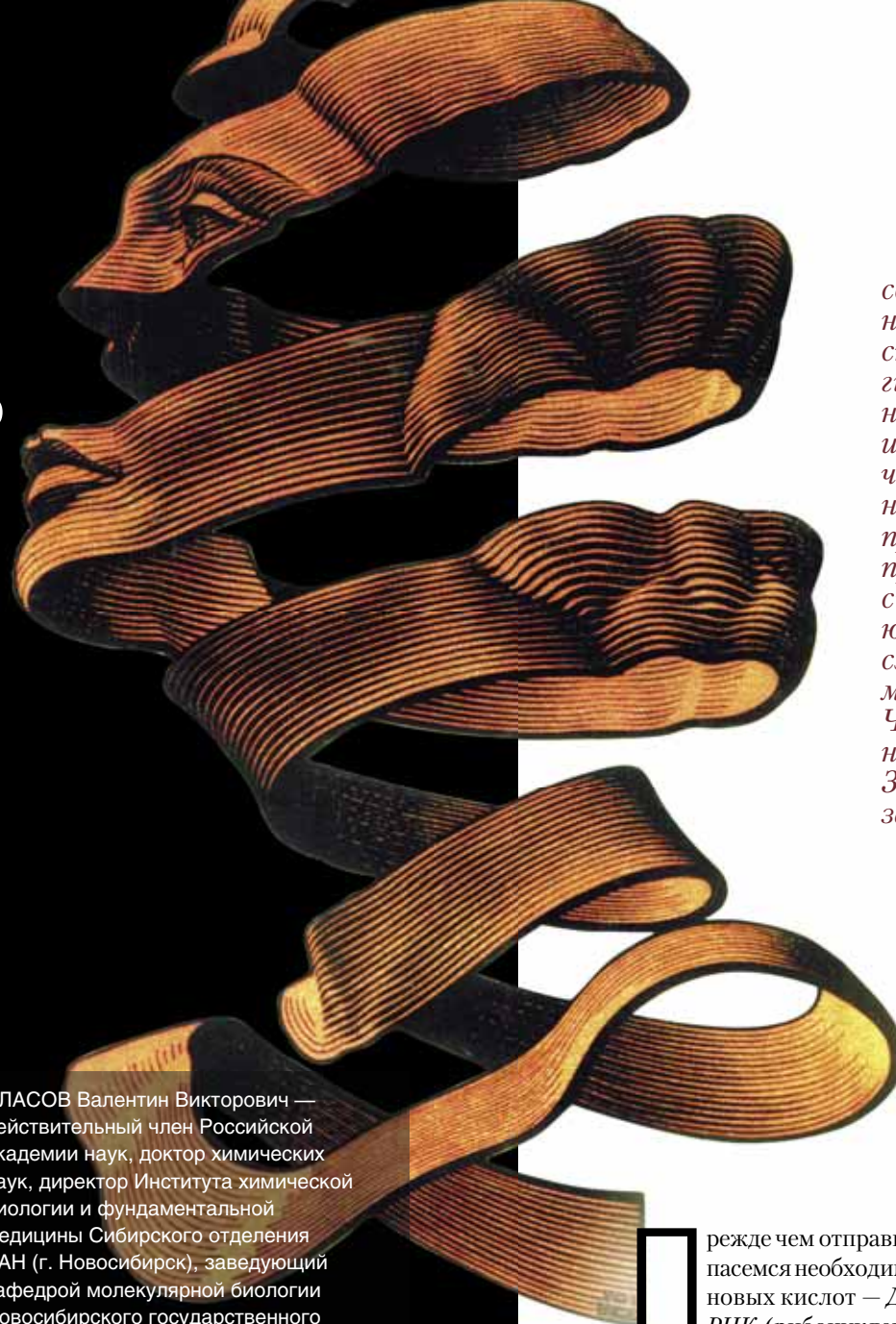
# ЖИЗНЬ начиналась с РНК



ВЛАСОВ Валентин Викторович — действительный член Российской академии наук, доктор химических наук, директор Института химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск), заведующий кафедрой молекулярной биологии Новосибирского государственного университета, лауреат Государственной премии РФ



ВЛАСОВ Александр Валентинович — кандидат химических наук, научный сотрудник Института химической биологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск)

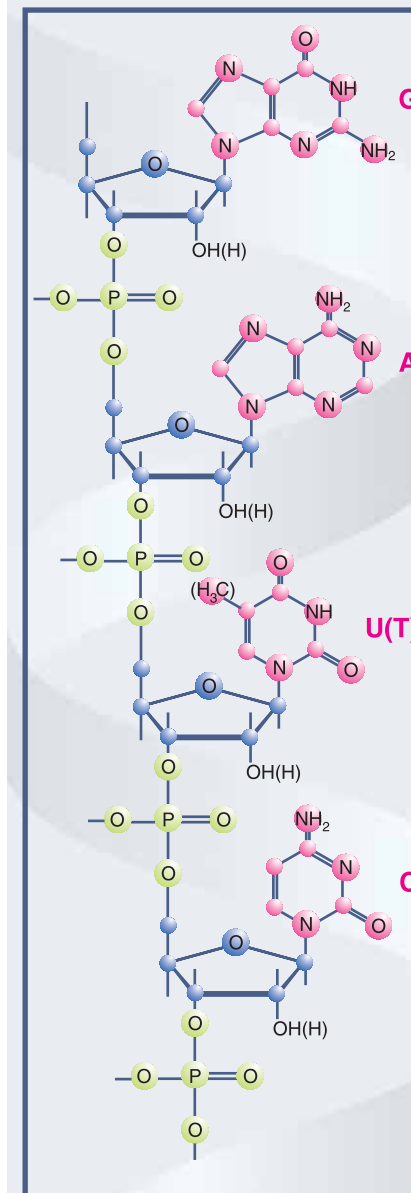


Валентин ВЛАСОВ, Александр ВЛАСОВ

Почему в цикле статей, посвященных проблеме возникновения жизни, появляется статья об РНК, а не о других, более известных органических молекулах — ДНК или белках? Возможно, наши читатели слышали и об РНК, но вот что? Уверены, ничего примечательного — по одной простой причине: пока лишь специалисты-биологи знают, что именно РНК являются «волшебными» молекулами, давшими начало жизни. Что когда-то в древности, на только что остывшей Земле, возник и существовал загадочный «мир РНК»...

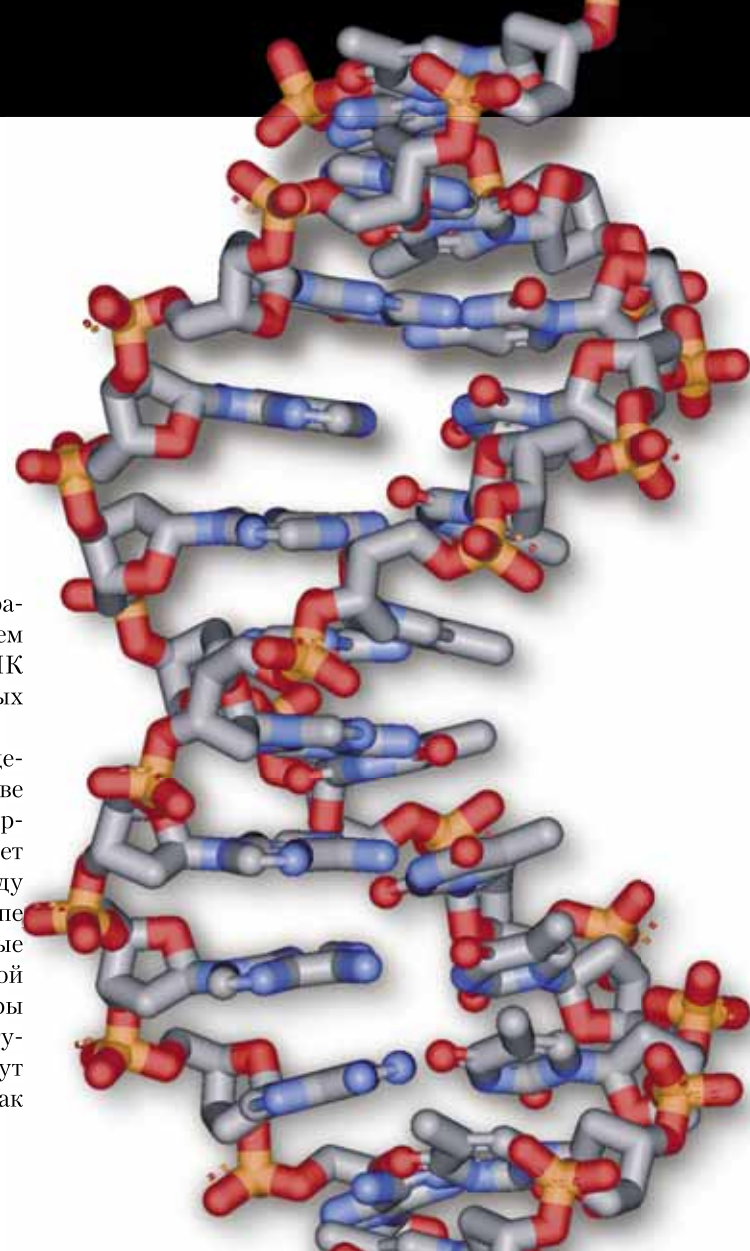
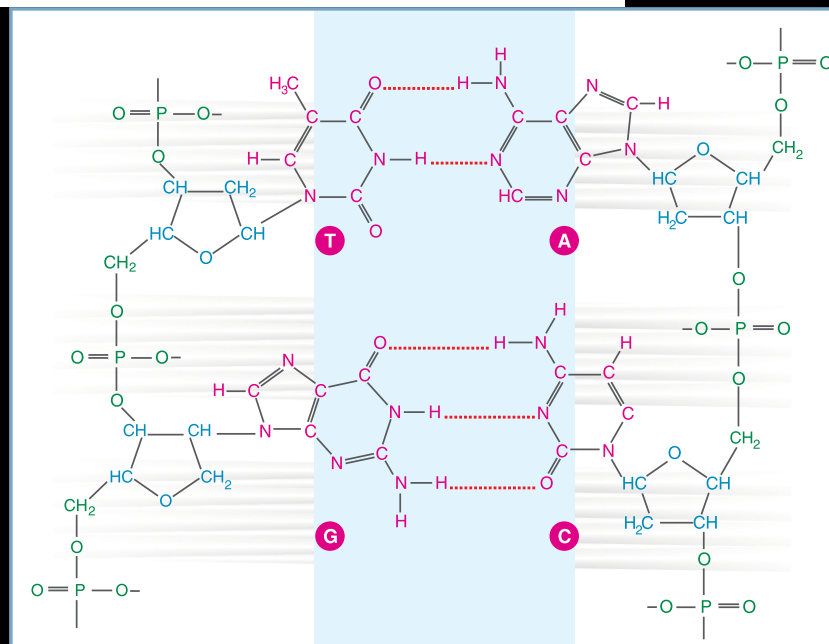
Прежде чем отправиться к «началу начал», давайте запасемся необходимыми знаниями о строении нуклеиновых кислот — ДНК (дезоксирибонуклеиновой) и РНК (рибонуклеиновой). По своему химическому составу РНК является двойняшкой, хотя и не полным близнецом, ДНК, основного хранителя генетической информации в живой клетке. Нуклеиновые кислоты представляют собой полимерные макромолекулы, состоящие из отдельных звеньев — нуклеотидов. Скелетом макромолекулы являются молекулы пятиуглеродного сахара, соединенные остатками фосфорной кислоты. К каждой молекуле сахара присоединяется одно азотистое основание. Нуклеотиды, которые различаются между собой только разными азотистыми основаниями, обозначаются буквами А, U, G, C (в РНК) и А, T, G, C (в ДНК).

Главное отличие нуклеиновых кислот заключается в их углеводной компоненте. В РНК сахар — рибоза, а в ДНК — дезоксирибоза: там, где у ДНК имеется атом водорода (H), у РНК стоит оксигруппа (OH). Результаты таких незна-



**Нуклеиновые кислоты — ДНК и РНК — устроены по одному принципу. Это сложные полимерные молекулы, состоящие из множества звеньев, каждое из которых включает в себя сахар, фосфорную кислоту и азотистое основание.**

Однако различия между ними существуют. В сахаре РНК (рибозе) присутствует OH-группа, в отличие от сахара ДНК (дезоксирибозы). Кроме того, ДНК и РНК отличаются по одному из четырех азотистых оснований: тимин (Т) в ДНК отличается от урацила (U) в РНК наличием метильной группы

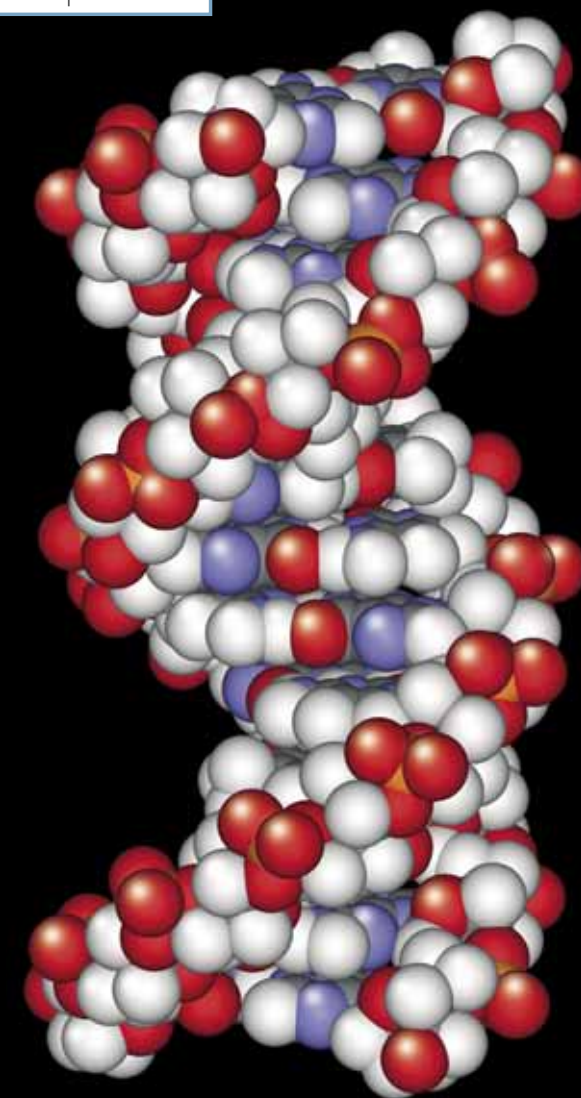


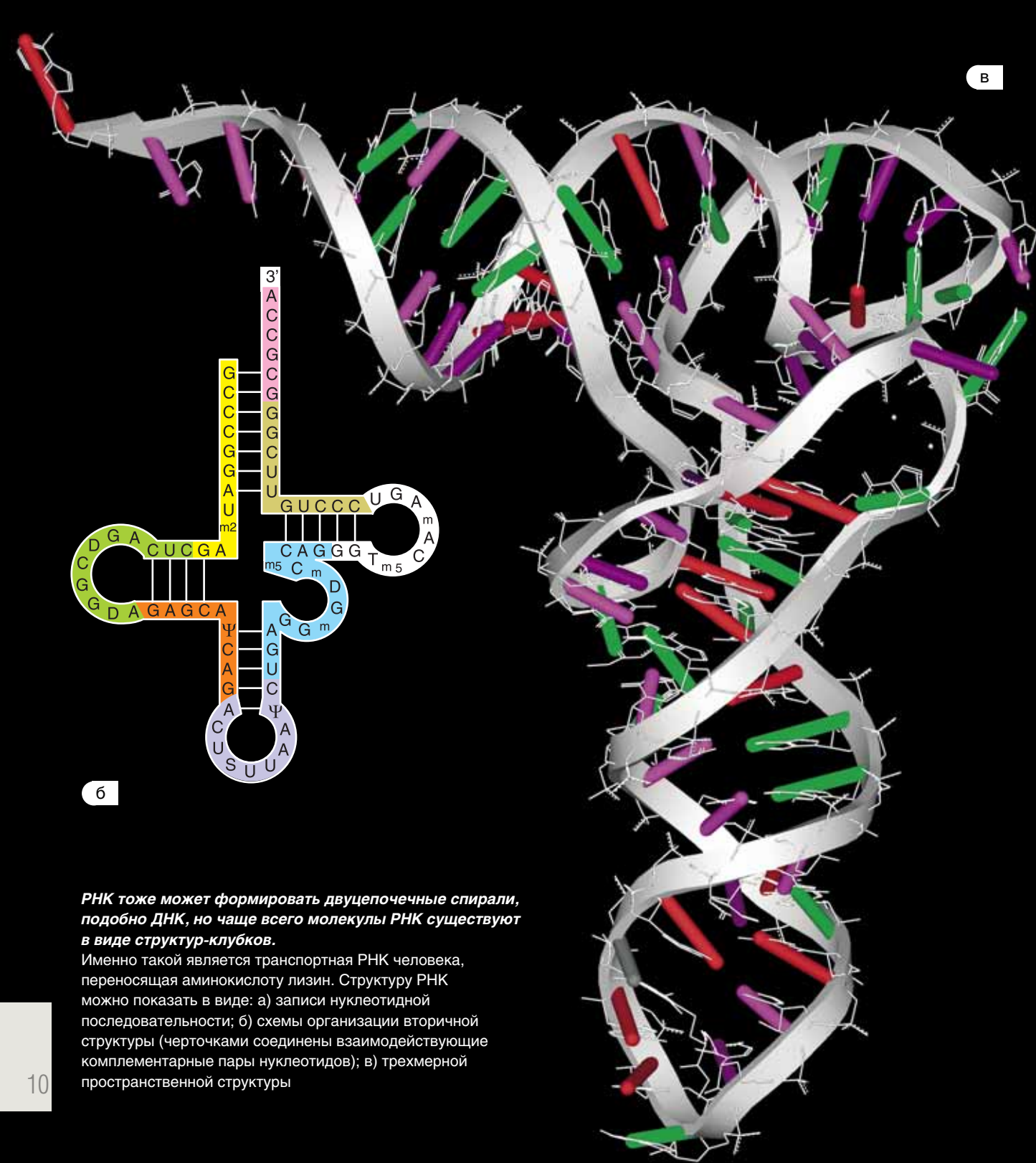
чительных, на неискушенный взгляд, различий поражают. Так, ДНК существуют в основном в форме всем известных жестких спиралей, в которых две цепи ДНК удерживаются вместе за счет образования водородных связей между комплементарными нуклеотидами.

РНК также могут формировать спирали из двух цепочек, похожие на спирали ДНК, однако в большинстве случаев РНК существуют в виде сложных структур-клубков. Структуры эти формируются не только за счет образования упомянутых водородных связей между разными участками РНК, но и благодаря оксигруппе рибозы, которая может образовывать дополнительные водородные связи и взаимодействовать с фосфорной кислотой и ионами металлов. Глобулярные структуры РНК не только внешне напоминают белковые структуры, но и приближаются к ним по свойствам: они могут взаимодействовать с самыми разными молекулами, как маленькими, так и полимерными.

Знаменитая двойная спираль ДНК представляет собой жесткую структуру. Две цепи ДНК удерживаются вместе за счет образования множества слабых водородных связей между парами нуклеотидов. Такие подходящие друг к другу молекулы, способные к взаимодействию, называют комплементарными

Честно говоря, насчет РНК никто не задумывался долгие годы. Существовала догма, что вот есть клетка, есть хромосомы, в которых есть ДНК — хранитель генетической информации. В конце концов, на рибосомах синтезируются белки. А РНК — она где-то в промежутке, переносчик информации от ДНК — и только. А потом посыпались открытия, которые заставили совершенно по-другому взглянуть на РНК





В

**КОГО СЧИТАТЬ «ЖИВЫМ»?**

Почему же именно РНК мы называем праmaterью ныне существующей жизни? Чтобы ответить на этот вопрос, давайте разберемся, где проходит граница между живым и неживым.

Поскольку над проблемой происхождения жизни работают ученые из разных областей, каждый оперирует терминами близкой ему науки. Химики обязательно вспомнят слово «катализатор», математики — «информация». Биологи будут считать *живой* систему, содержащую вещество (генетическую программу), которое может копироваться (или, по-простому, размножаться). При этом необходимо, чтобы в ходе такого копирования могли происходить некоторые изменения наследственной информации и возникать новые варианты систем, т. е. должна существовать возможность *эволюции*. Еще биологи обязательно заметят, что такие системы должны быть пространственно обособлены. Иначе возникшие более прогрессивные системы не смогут воспользоваться своими преимуществами, поскольку их

более эффективные катализаторы и другие продукты будут беспрепятственно «уплывать» в окружающую среду.

Каким же образом первые молекулярные системы были обособлены от окружающей среды? Колонии молекул могли, например, удерживаться вместе за счет адсорбции на какой-нибудь минеральной поверхности или пылевых частицах. Однако возможно, что уже самые примитивные системы располагали, подобно современным живым клеткам, настоящей мембранной оболочкой. Дело в том, что такая «протоклетка» с липидной мембраной может образоваться очень просто. Многие молекулы с заряженными группами (например, жирные кислоты) в водной среде образуют микроскопические пузырьки — *липосомы*. Это слово должно быть хорошо известно прекрасной половине наших читателей: липосомы широко используются в косметических кремах — крохотные жировые капсулы начиняются витаминами и другими биологически активными веществами. А вот чем были наполнены древние «протоклетки»? Оказалось, что на роль «начинки» претендуют именно РНК.

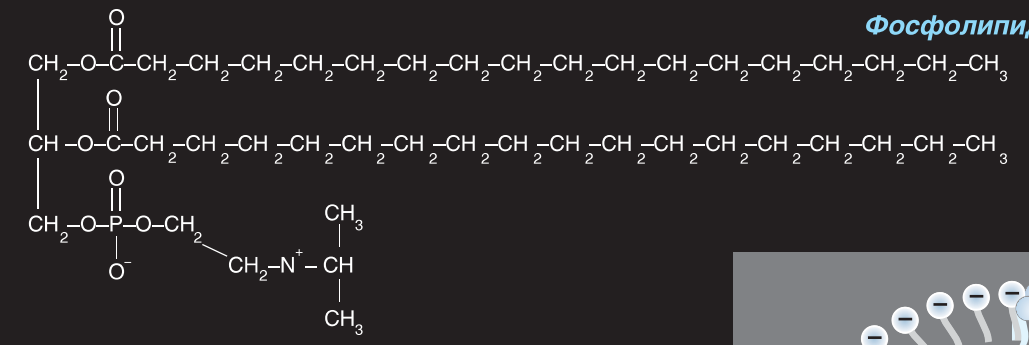
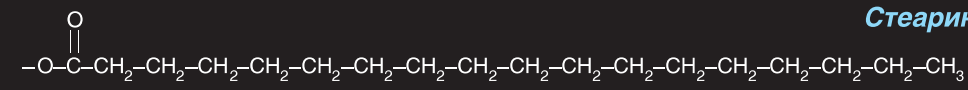
б

**РНК тоже может формировать двуцепочечные спирали, подобно ДНК, но чаще всего молекулы РНК существуют в виде структур-клубков.**

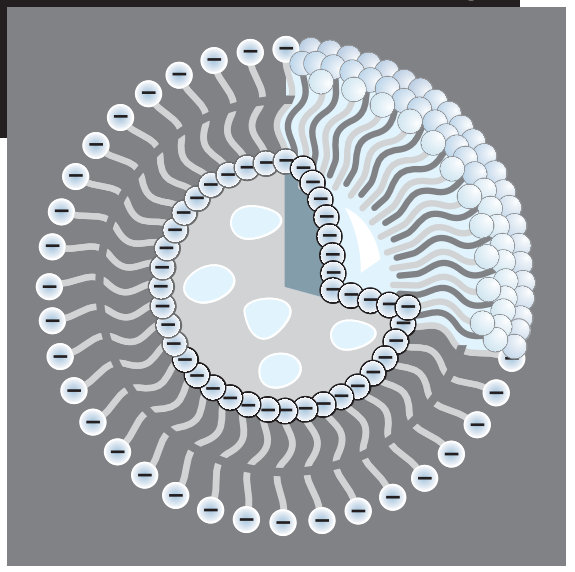
Именно такой является транспортная РНК человека, переносящая аминокислоту лизин. Структуру РНК можно показать в виде: а) записи нуклеотидной последовательности; б) схемы организации вторичной структуры (черточками соединены взаимодействующие комплементарные пары нуклеотидов); в) трехмерной пространственной структуры



а



Уже древние примитивные клетки должны были обладать настоящей мембранной оболочкой. Ее могли образовывать любые молекулы с заряженными группами, присоединенными к неполярным структурам: а) примеры веществ, способных образовывать мембраны; б) структура *липосомы* — микроскопического пузырька, стенки которого состоят из двойного слоя молекул, обращенных заряженными группами в сторону водной фазы

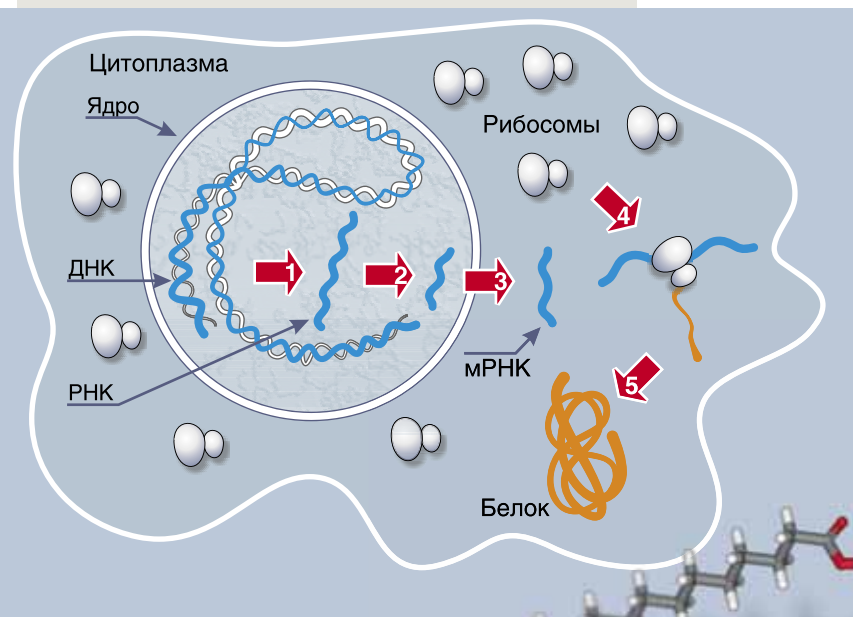




РНК УМЕЕТ ВСЕ?

Жизнь, без сомнения, должна была начаться с образования «умелых» молекул, которые могли бы сами себя размножать и выполнять все другие «хозяйственные работы», необходимые для существования клетки. Однако на роль таких умельцев не подходит ни ДНК, ни белок. ДНК — отличный хранитель генетической информации, но сама себя размножить не умеет. Белки — непревзойденные катализаторы, но не могут работать в качестве «генетических программ». Возникает парадокс курицы и яйца: ДНК не может образоваться без белка, а белок — без ДНК. И только РНК, как выяснилось, может ВСЕ. Но не будем забегать вперед.

Рассмотрим давно известные функции РНК, связанные с работой (экспрессией) гена в клетке. При включении гена сначала происходит локальное расплетение ДНК и синтезируется РНК-копия генетической программы. В результате сложных обработок ее специальными белками



**Молекулы РНК выполняют ключевые функции в ходе биосинтеза белка.**

При «включении» гена происходит локальное расплетение спирали ДНК. Затем с гена, кодирующего белковую молекулу, синтезируется его РНК-копия. После ряда «превращений» она становится *матричной РНК*, т. е. матрицей для синтеза белка. мРНК переносится из ядра клетки в цитоплазму, где связывается с рибосомами, на которых и «производится» белок. Он синтезируется из активированных аминокислот, присоединенных к специальным *транспортным РНК*

матричная РНК (*мРНК*), которая и является программой для синтеза белка. Эта РНК переносится из ядра в цитоплазму клетки, где она связывается со специальными клеточными структурами — *рибосомами*, настоящими молекулярными «машинами» для синтеза белка. Белок синтезируется из активированных аминокислот, присоединенных к особым транспортным РНК (*тРНК*), причем каждая из аминокислот присоединена к своей специфической тРНК. Благодаря тРНК аминокислота фиксируется в каталитическом центре рибосомы, где она «пришивается» к синтезируемой белковой цепи. Из рассмотренной последовательности событий видно, что

молекулы РНК играют ключевую роль в декодировании генетической информации и биосинтезе белка.

Чем больше углублялись в изучение различных биосинтетических процессов, тем чаще обнаруживали ранее неизвестные функции РНК. Оказалось, что кроме процесса *транскрипции* (синтеза РНК путем копирования участка ДНК) в ряде случаев, наоборот, может происходить синтез ДНК на РНК-матрицах. Этот процесс, названный *обратной транскрипцией*, используют в ходе своего развития многие вирусы, в том числе печально известные онкогенные вирусы и ВИЧ-1, вызывающий СПИД.

Таким образом, выяснилось, что поток генетической информации не является, как первоначально считалось, односторонним — от ДНК к РНК. Роль ДНК как изначально главного носителя генетической информации стала подвергаться сомнению. Тем более что многие вирусы (гриппа, клещевого энцефалита и другие) вообще не используют ДНК в качестве генетического материала, их геном построен исключительно из РНК. А далее посыпались одно за другим открытия, которые заставили совершенно по-другому взглянуть на РНК.

**НА ВСЕ «МОЛЕКУЛЫ» МАСТЕР**

Наиболее удивительным было открытие каталитической способности РНК. Прежде считалось, что катализировать реакции умеют только белки, ферменты. Ученые, например, никак не могли выделить ферменты, осуществляющие разрезание и сшивание некоторых РНК. После длительных исследований выяснилось, что РНК прекрасно справляются с этим сами. Структуры РНК, действующие подобно ферментам, назвали *рибозимами* (по аналогии с *энзимами*, белками-катализаторами). Вскоре было обнаружено множество разнообразных рибозимов. Особенно широко их используют для манипулирования своими РНК вирусы и другие простые инфекционные агенты. Таким образом, РНК оказались мастерами на все руки: они могут выступать в роли носителей наследственной информации, могут служить катализаторами, транспортными средствами для аминокислот, образовывать высокоспецифичные комплексы с белками.

Окончательная уверенность в том, что «мир РНК» действительно существовал, наступила после выявления деталей строения кристаллов рибосом методом рентгеноструктурного анализа. Ученые рассчитывали обнаружить там белок, катализирующий сшивание аминокислот в белковую последовательность. Каково же было их удивление, когда выяснилось, что в каталитическом центре рибосом белковых структур нет совсем, что он полностью построен из РНК! Оказалось, что все ключевые стадии биосинтеза белка осуществляются

молекулами РНК. Точка в дискуссии о возможности существования «мира РНК» как особой стадии биологической эволюции была поставлена.

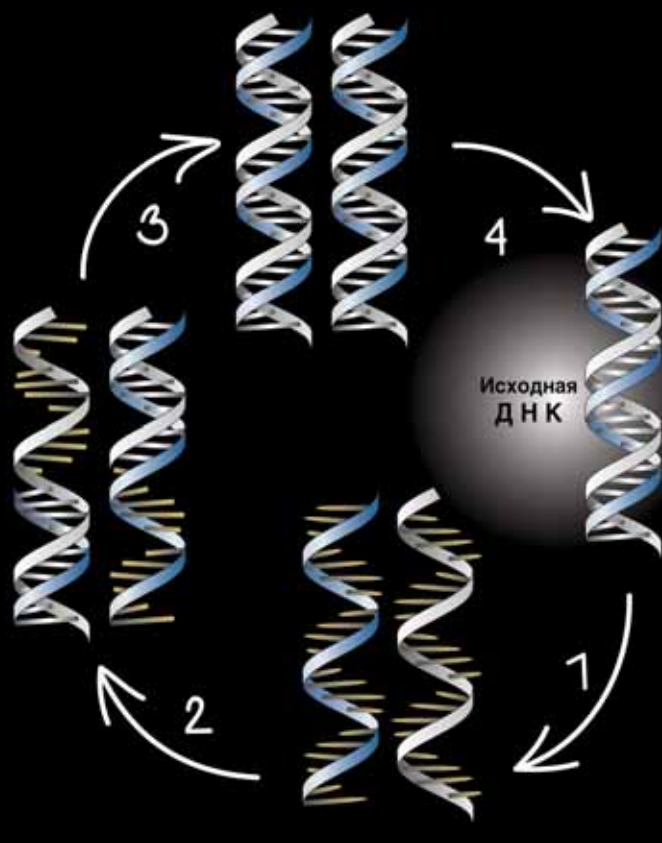
Конечно, полную картину еще предстоит реконструировать — осталось много нерешенных вопросов. Например, в современной клетке активацию аминокислот и их присоединение к соответствующим тРНК осуществляют специфичные белки-ферменты. Возникают вопросы: могла ли эта реакция осуществляться без участия белков, только с помощью РНК? Могли ли сами РНК катализировать синтез РНК из нуклеотидов или присоединение азотистых оснований к сахару? В общем-то, после открытия рибозимов такие потенциальные способности РНК уже не вызвали особых сомнений. Но наука требует, чтобы гипотезы экспериментально подтверждались.



**ЦКП «Секвенирование ДНК» СО РАН.**

Центр коллективного пользования дорогостоящим оборудованием для секвенирования ДНК был создан в 2000 году на базе Института химической биологии и фундаментальной медицины (ИХБФМ) и Института цитологии и генетики (ИЦиГ). ЦКП располагает полным комплексом современных автоматических приборов для анализа и расшифровки структуры генов и других участков ДНК





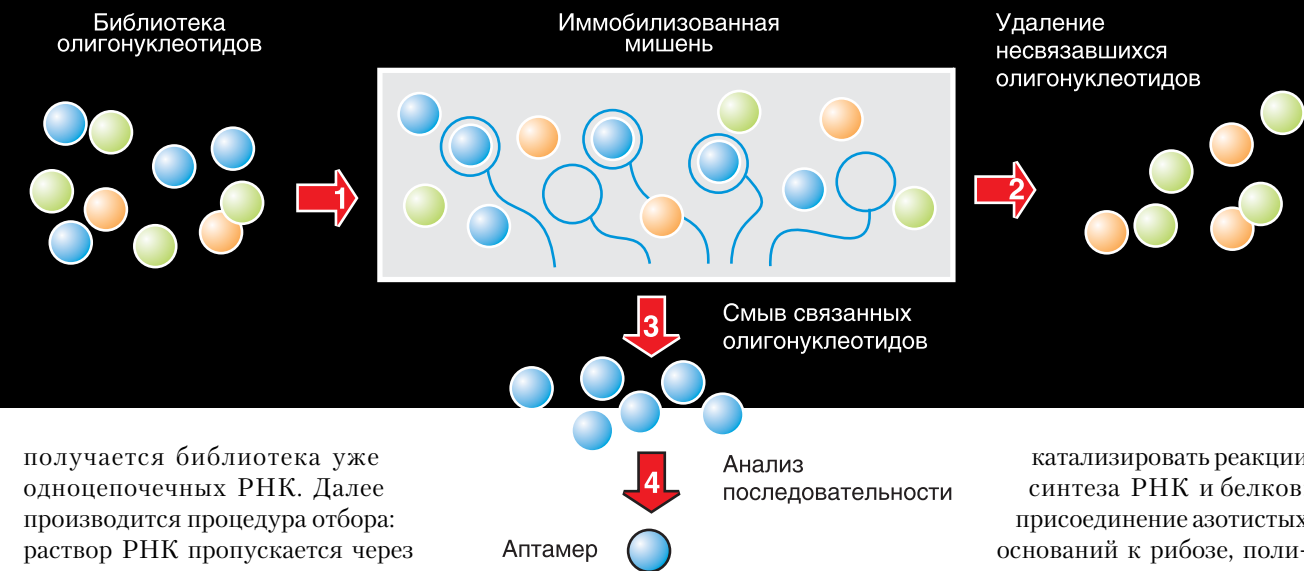
**Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР), который позволяет в неограниченном количестве «размножать» нуклеиновые кислоты, произвел настоящую революцию в биологии.**  
Суть метода проста: спираль ДНК разделяют нагреванием, а затем на каждой цепи с помощью специального фермента собирают цепочку, комплементарную исходной. В результате из одной двуцепочечной ДНК получается две. Из двух — четыре и т. д. Процесс можно повторять до бесконечности!

Изобретение ПЦР и разработка методов химического синтеза ДНК позволили создать потрясающую технологию *молекулярной селекции*. Принцип молекулярной селекции тоже прост: сначала синтезируется множество молекул, обладающих разными свойствами (так называемая *молекулярная библиотека*), а затем из этой смеси отбираются молекулы с желаемым свойством.

Библиотеки нуклеиновых кислот — это смеси молекул, имеющих одинаковую длину, но отличающихся последовательностью нуклеотидов. Получить их можно в том случае, если при химическом синтезе на автоматическом синтезаторе добавлять на каждой стадии удлинения нуклеотидной последовательности одновременно все четыре нуклеотида. Каждый из них будет включаться в растущую нуклеиновую кислоту с равной вероятностью, в результате чего на каждом этапе присоединения будет получаться 4 варианта последовательностей. Если таким образом синтезировать нуклеиновую кислоту длиной в  $n$  звеньев, то разнообразие полученных молекул составит  $4^n$  в степени  $n$ . Поскольку обычно используются участки длиной 30–60 мономеров, то в результате синтеза получается от  $4^{30}$  до  $4^{60}$  разных молекул! Цифры, привычные разве что для астрономов.

Так как в зависимости от состава нуклеиновые кислоты сворачиваются в разные пространственные структуры, синтез статистических последовательностей дает огромное множество молекул, различающихся по свойствам. С образовавшихся ДНК — с помощью фермента РНК-полимеразы — считывается РНК. В результате

**Принцип молекулярной селекции очень прост: сначала синтезируют несколько миллиардов (!) молекул нуклеиновых кислот одной длины, но разного состава, а потом из смеси отбирают молекулы с нужными свойствами.**  
Чтобы получить РНК, способные связываться с определенным веществом, его молекулы прикрепляют к специальным колонкам. Раствор с РНК пропускают через колонку, и несколько молекул из множества непременно свяжутся с молекулами-«мишенями». «Пойманные» РНК — *аптамеры* можно выделить и затем размножить с помощью ПЦР



получается библиотека уже одноцепочечных РНК. Далее производится процедура отбора: раствор РНК пропускается через колонку, в которой находится нерастворимый носитель с химически присоединенными молекулами-мишенями, чтобы «выловить» так называемый будущий *аптамер*, т. е. РНК, способную связывать определенные молекулы. Затем колонку промывают для удаления несвязавшихся РНК, а затем смывают РНК, задержавшиеся на колонке за счет связывания с целевыми молекулами (это можно сделать, например, нагревая колонку).

С выделенных РНК с помощью обратной транскрипции делают ДНК-копии и получают из них обычные двуцепочечные молекулы ДНК. С последних же можно считывать искомые РНК-аптамеры, а затем — размножать их методом ПЦР в неограниченных количествах. Конечно, так происходит в идеальном случае, на практике все получается сложнее. Обычно исходный препарат РНК содержит огромный избыток «посторонних» молекул, избавиться от которого трудно. Поэтому полученную РНК вновь и вновь пропускают через колонку, чтобы выделить РНК, образующие самые прочные комплексы с целевыми молекулами. С помощью такого метода были получены тысячи разных РНК-аптамеров, которые образуют специфические комплексы с различными органическими соединениями и молекулами.

Рассмотренная схема молекулярной селекции может быть применена для получения молекул с любыми свойствами. Например, были получены РНК, способные

катализировать реакции синтеза РНК и белков: присоединение азотистых оснований к рибозе, полимеризацию активированных нуклеотидов на цепочках РНК, присоединение аминокислот к РНК.  
Эти исследования еще раз подтвердили, что в условиях предбиологической эволюции из случайных полимеров могли возникать молекулы РНК со специфическими структурами и функциями.

### ДЕЛАЙТЕ ВАШ ЗАКАЗ!

Метод молекулярной селекции обладает очень большими возможностями. С его помощью можно решать задачи поиска нужных молекул даже в том случае, если исходно нет идеи, как такие молекулы должны быть устроены. Однако, если придумать процедуру отбора, их можно выделить по принципу требуемых свойств, а затем уже заняться и вопросом, как эти свойства достигаются. Продемонстрируем это на примере выделения РНК, способных связываться с клеточными мембранами и модулировать их проницаемость.

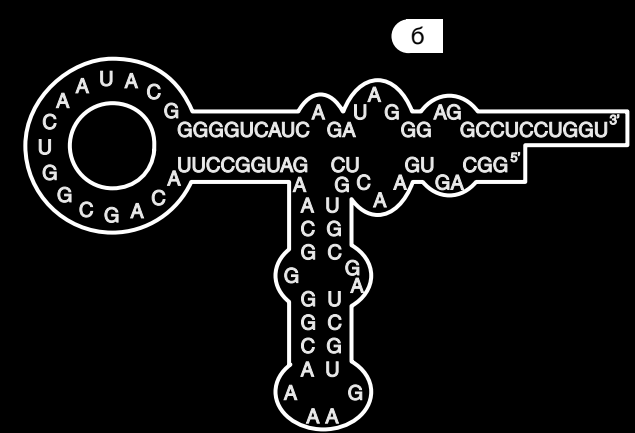
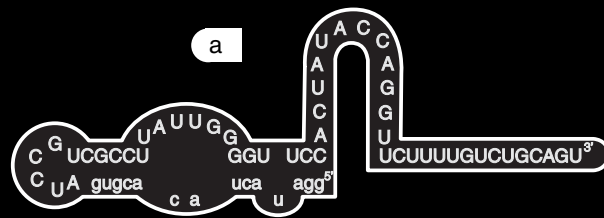
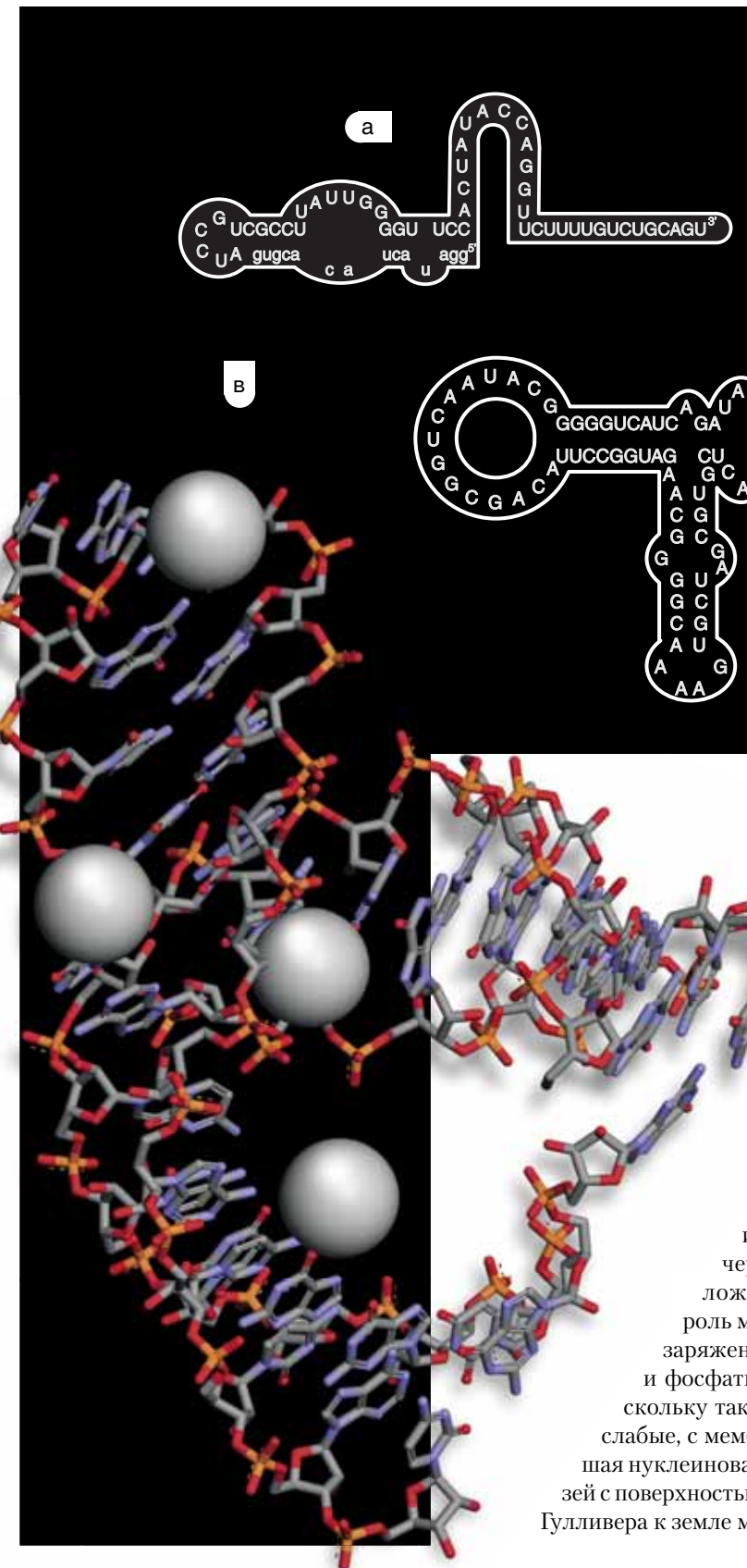
Древние рибциты должны были поглощать «питательные» вещества из окружающей среды, удалять продукты метаболизма и делиться в ходе размножения. И все эти процессы требуют управления проницаемостью мембран. Поскольку мы полагаем, что никаких других функциональных молекул, кроме РНК, в рибцитах не было, какие-то РНК обязательно должны были взаи-

### ДАРВИНОВСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ В ПРОБИРКЕ

Хороший метод зачастую позволяет осуществить революцию в науке. Именно так можно сказать о методе *полимеразной цепной реакции (ПЦР)*, который позволяет размножать нуклеиновые кислоты в неограниченных количествах. Кратко опишем суть метода. Для размножения ДНК в методе ПЦР используются ферменты *ДНК-полимеразы*, т. е. те самые ферменты, которые при размножении клеток синтезируют из активированных мономеров-нуклеотидов комплементарные цепочки ДНК.

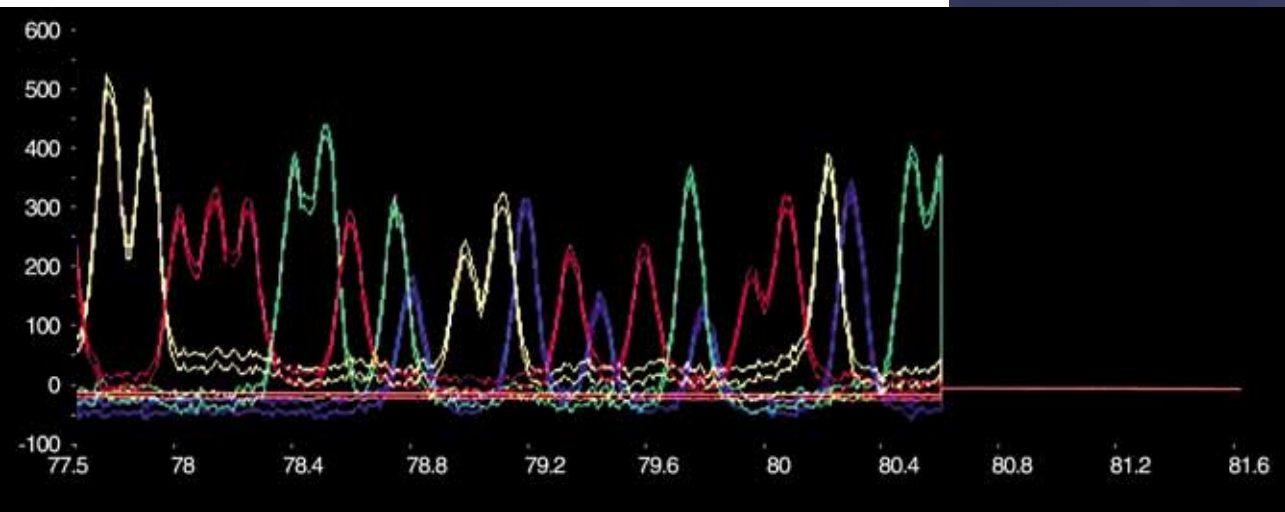
При методе ПЦР в пробирку с ДНК вносят смесь активированных нуклеотидов, фермент ДНК-полимеразу и так называемые *праймеры* — олигонуклеотиды, комплементарные концам размножаемой ДНК. При нагревании раствора цепи ДНК расходятся. Затем, при охлаждении, с ними связываются праймеры, образуя короткие фрагменты спиральных структур. Фермент присоединяет к праймерам нуклеотиды и собирает цепочку, комплементарную цепочке исходной ДНК. В результате реакции из одной двуцепочечной ДНК получается две. Если повторить процесс, получится четыре цепочки, а после  $n$  повторений —  $2^n$  молекул ДНК. Все очень просто.





**Методом молекулярной селекции были выделены тысячи разных РНК-аптамеров, способных образовывать комплексы с самыми разными молекулами.**

а) аптамер, связывающий аминокислоту изолейцин; б) аптамер, связывающий аминокислоту тирозин; в) трехмерная структура *hammerhead* рибозима (Dunham C. M., Murray J. B., Scott W. G., 2003)



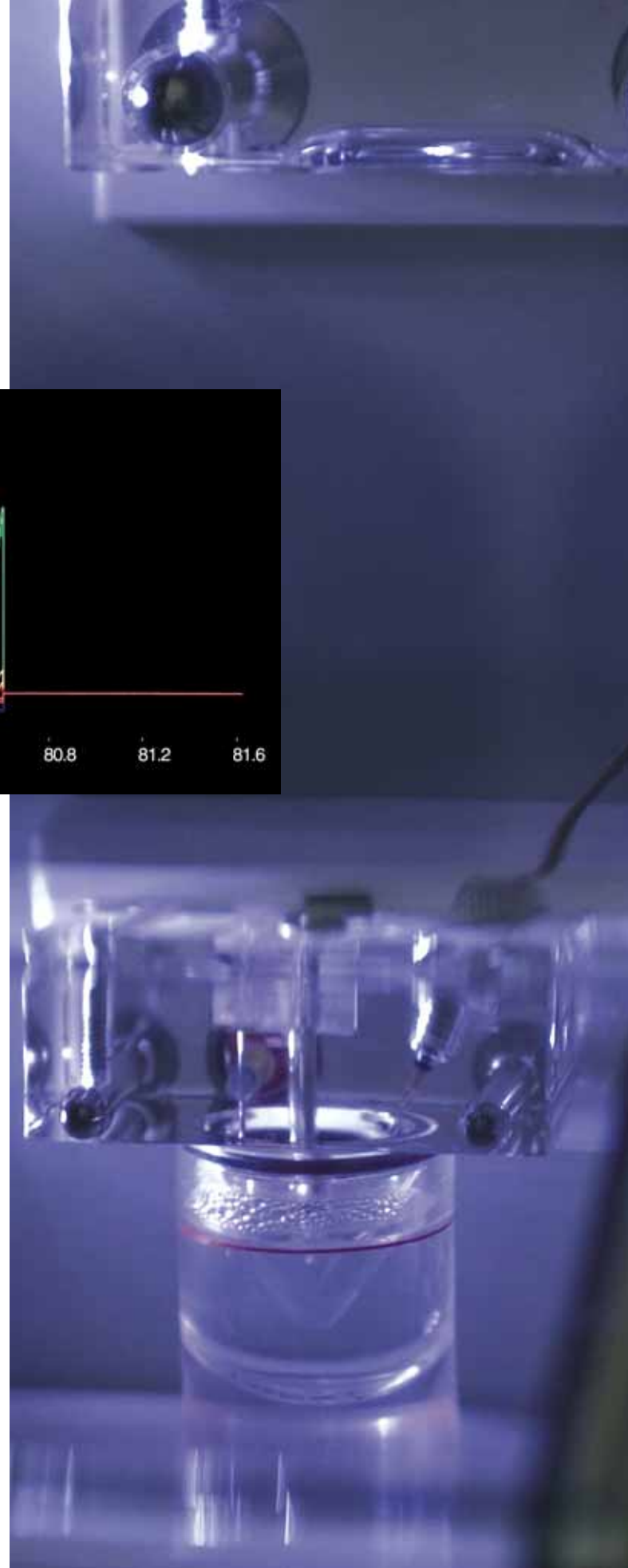
модействовать с мембранами. Однако с химической точки зрения они совершенно не подходят для роли регуляторов проницаемости мембран.

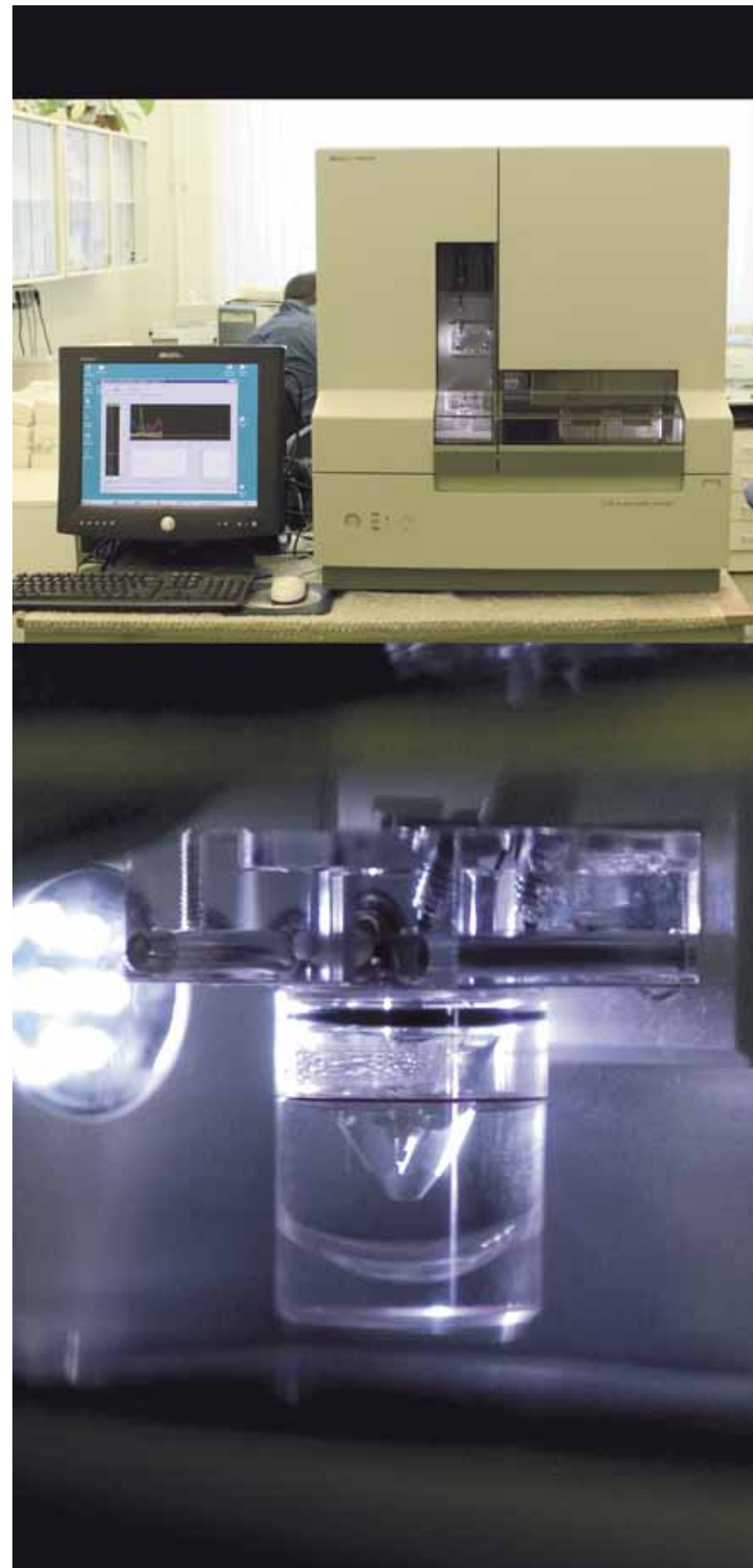
Мембраны современных клеток и липосом, построенные из жирных кислот, несут отрицательный заряд. Поскольку РНК также заряжены отрицательно, то по закону Кулона они должны отталкиваться от липидной поверхности и тем более не могут проникать в глубь липидного слоя. Единственный известный способ взаимодействия нуклеиновых кислот с поверхностью мембран — через двухзарядные ионы металлов. Эти положительно заряженные ионы могут играть роль мостиков, располагаясь между отрицательно заряженными группами на поверхности мембраны и фосфатными группами нуклеиновой кислоты. Поскольку такие мостиковые взаимодействия достаточно слабые, с мембраной может связаться только очень большая нуклеиновая кислота благодаря множеству слабых связей с поверхностью мембраны. Так маленькие враги привязали Гулливера к земле множеством тонких веревок.

Тут и помог исследователям метод молекулярной селекции. Из библиотеки РНК удалось выделить несколько молекул, которые очень успешно связывались с мембранами, а при достаточно высокой концентрации — даже разрывали их! Эти РНК обладали необычными свойствами. Они как бы помогли

друг другу: смесь молекул разных сортов связывалась с мембранами гораздо лучше, чем молекулы одного сорта. Все стало ясным после изучения вторичных структур этих РНК. Оказалось, что в них имеются петли с комплементарными участками. За счет этих участков «мембранные» РНК могут формировать комплексы-сообщества, которые способны образовывать множественные контакты с мембраной и делать то, что одной молекуле РНК не под силу.

Этот селекционный эксперимент подсказал, что у РНК есть дополнительный способ приобретения новых свойств путем образования сложных надмолекулярных комплексов. Этот механизм мог использоваться и для удерживания эволюционирующих систем РНК в виде колоний на поверхностях еще до того, как эти системы обзавелись изолирующей мембраной.





**«МИР РНК»:  
БЫЛ, ЕСТЬ И БУДЕТ!**

Множество данных свидетельствует о том, что «мир РНК» действительно существовал. Правда, не совсем ясно — где. Некоторые специалисты полагают, что начальные этапы эволюции происходили не на Земле, что на Землю были занесены уже функционально активные системы, которые приспособились к местным условиям. Однако с химической и биологической точки зрения это не меняет сути дела. В любом случае остается загадкой — в результате каких процессов в окружающей среде рибозиты образовались и за счет каких компонентов существовали. Ведь требуемые для жизни рибозитов нуклеотиды — сложные молекулы. Трудно представить, что эти вещества могли образовываться в условиях пребиотического синтеза.

Вполне возможно, что древние РНК значительно отличались от современных. К сожалению, следов этих древних РНК экспериментально обнаружить нельзя, речь идет о временах, удаленных от нас на миллиарды лет. Даже скалы тех времен давно «рассыпались в песок». Поэтому речь может идти только об экспериментальном моделировании процессов, которые могли протекать на самых ранних стадиях молекулярной эволюции.

Почему произошел переход от «мира РНК» к современному миру? Белки, располагающие гораздо большим набором химических групп, чем РНК, являясь лучшими катализаторами и структурными элементами. По-видимому, некоторые

Автоматический секвенатор ДНК — прибор, с помощью которого «читают» гены

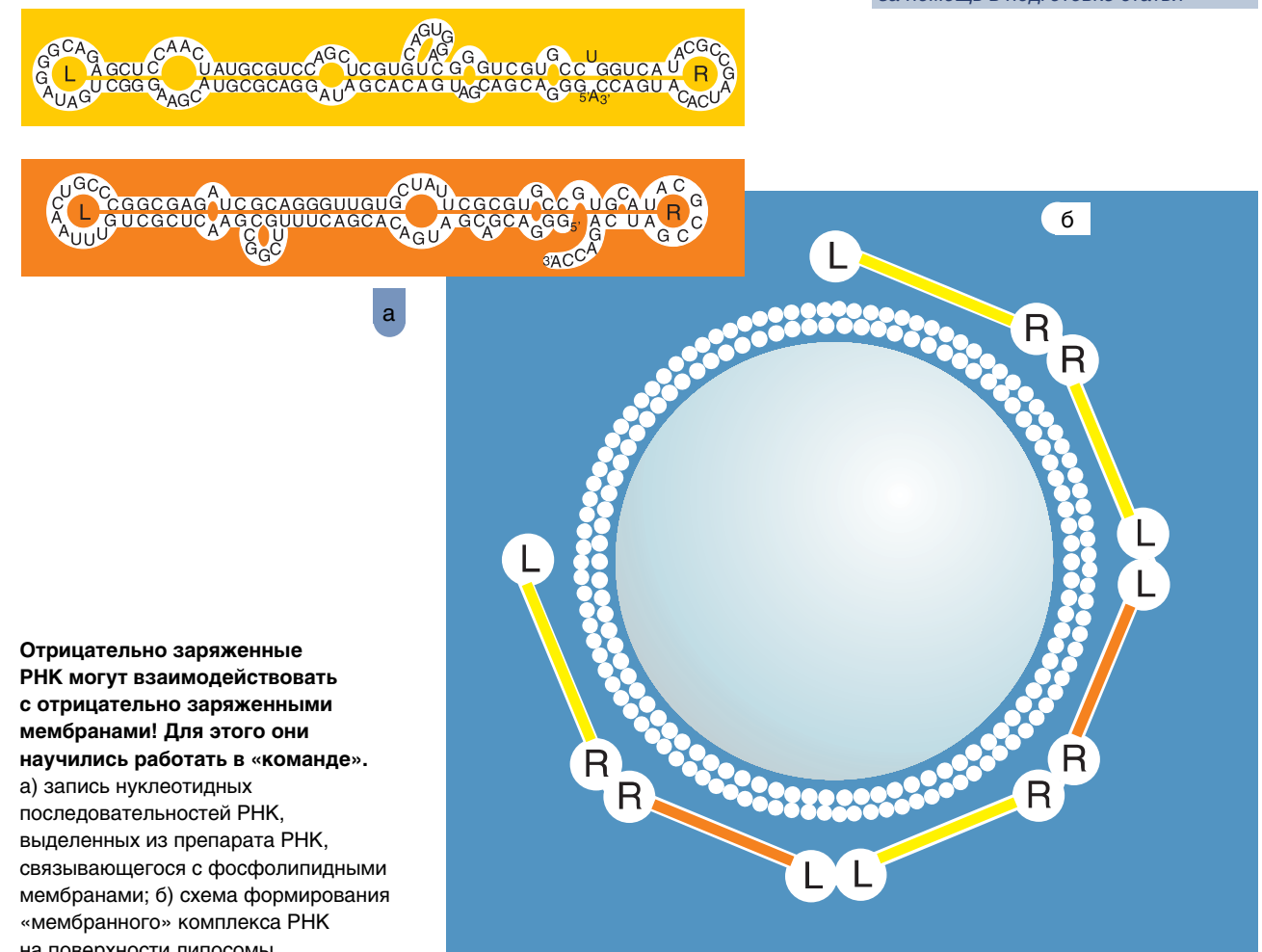
древние РНК стали использовать белковые молекулы в качестве «орудий труда». Такие РНК, способные к тому же синтезировать для своих целей полезные молекулы из окружающей среды, получали преимущества в размножении. Естественным путем отбирались соответствующие аптамеры и рибозимы. А затем эволюция сделала свое дело: возник аппарат трансляции, и постепенно ответственность за катализ перешла к белкам. Орудия оказались столь удобными, что вытеснили своих «хозяев» из многих сфер деятельности.

Читатель вправе спросить: а зачем вообще нужно исследовать эволюцию РНК, ведь древний «мир РНК» исчез? Неужели только ради «чистого искусства», удовлетворения интересов фанатичных исследователей? Однако, не зная прошлого, нельзя понять настоящее. Изучение эволюции и возможностей РНК может подсказать новые направления поиска процессов, протекающих в современных живых клетках. Например, совсем недавно были обнаружены мощные системы регуляции активности генов с участием двуцепочечных РНК,

с помощью которых клетка защищает себя от вирусных инфекций. Эта древняя система клеточной защиты, вероятно, скоро найдет применение в терапии.

Поэтому неудивительно, что в наше время исследования нуклеиновых кислот продолжают оставаться одной из самых «горячих точек» в молекулярной биологии. Благодаря уникальным свойствам РНК находят все более широкое применение в медицине и технике. Возникший в незапамятные времена «мир РНК» будет не только продолжать незримо существовать в наших клетках, но и возрождаться в виде новых биотехнологий.

Редакция благодарит сотрудников Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН к. х. н. В. В. Ковалю, к. х. н. С. Д. Мызину и к. х. н. А. А. Бондаря за помощь в подготовке статьи

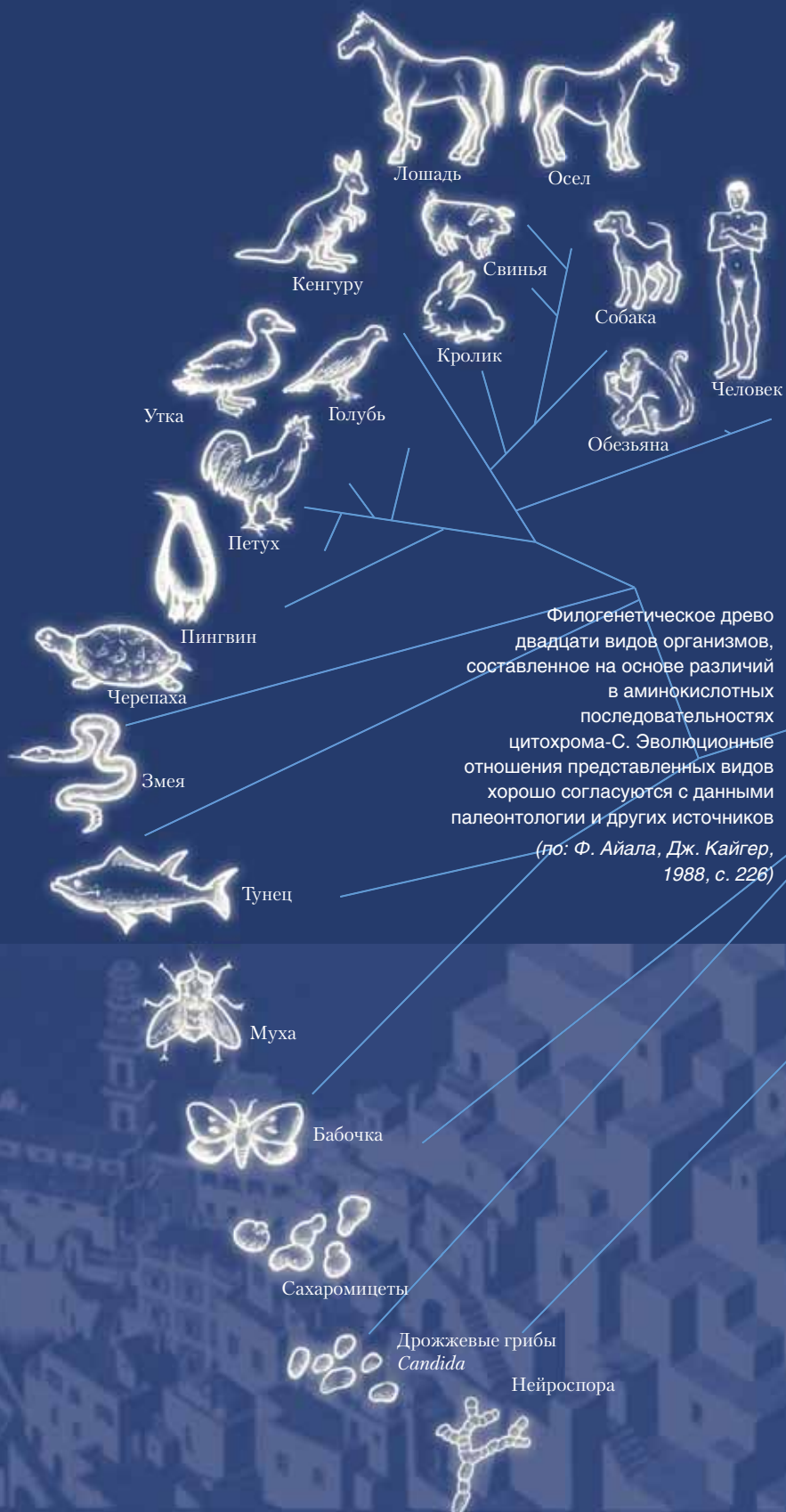


ПРОИСХОЖДЕНИЕ  
и ЭВОЛЮЦИЯ  
ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Сергей ИНГЕ-ВЕЧТОМОВ

ПОИСКИ  
периодической  
системы...

В ЭВОЛЮЦИИ



Уже более 100 лет, считая со времени переоткрытия законов Менделя, биология стремится стать точной наукой подобно химии и физике, однако она все еще слишком конкретна и подробна. Тем не менее ученые не оставляют попыток систематизации и формализации наших знаний о биологических процессах и механизмах в поисках своеобразной «периодической системы» в биологии. В еще большей степени это можно отнести к исследованиям эволюции биологических систем в свете бессмертной мысли Ф. Добжанского о том, что в биологии ни одна задача не имеет смысла, если она не связана с теорией эволюции.



ИНГЕ-ВЕЧТОМОВ Сергей Георгиевич — действительный член РАН, доктор биологических наук, заместитель председателя Президиума Санкт-Петербургского научного центра РАН, заведующий кафедрой генетики и селекции Санкт-Петербургского государственного университета. Президент Вавиловского общества генетиков и селекционеров. Заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии им. Ленинского комсомола, премии Правительства РФ

НЕМНОГО О КОРНЯХ

Кстати сказать, со времен Чарльза Дарвина никто так и не придумал хорошей альтернативной теории эволюции, несмотря на частые заявления об обратном. Фундаментальный принцип естественного отбора до сих пор никем не опровергнут. А вот что касается более тонких механизмов... По большому счету, наши представления об эволюции являются всего лишь зеркалом, отражающим полноту наших знаний о структуре и функционировании биологических систем. И не вина зеркала, если лицо, скажем мягко, несколько «подкачало». Это относится и к удельному весу различных механизмов, принимающих участие в эволюционном процессе, начиная от горизонтального переноса генов и т. д.

Нужно заметить, что поиски основополагающих эволюционных принципов ранее проводились исключительно на морфологическом уровне, сейчас же акцент все более смещается на уровень молекулярный. Давайте заглянем ненадолго в прошлое, чтобы лучше представить себе «эволюцию» наших представлений об эволюции.

СНАЧАЛА БЫЛА ПОПУЛЯЦИЯ

В основе современной *синтетической теории эволюции* лежат достижения генетики. Однако в начале XX столетия первые адепты новой науки сами были «махровыми» антидарвинистами, утверждавшими, что новые виды рождаются исключительно благодаря мутационному процессу без всякого участия естественного отбора. Так продолжалось до 1908 года, когда английский математик Г. Харди и немецкий врач В. Вайнберг независимо сформулировали знаменитый закон, объяснивший наблюдаемое в природе сохранение изменчивости при передаче признаков от родителей к потомкам. Это событие ознаменовало рождение наиболее формализованного направления в биологии — *популяционной генетики*.

Закон Харди–Вайнберга представляет собой довольно простую математическую формулу, согласно которой при постоянных условиях имеющаяся в популяции изменчивость будет оставаться на одном и том же уровне. Но в природе редко встречаются равновесные популяции: под действием различных внешних факторов в популяции происходит изменение первоначальных частот (концентрации) генов. И вот это уже — элементарное микроэволюционное событие. К слову, положение о том, что единицей эволюции является не особь, а популяция, сформулировал «зубр» русской генетики Н. Тимофеев-Ресовский, а сами термины *макроэволюция* и *микроэволю-*

*ция* ввел Ю. Филипченко, читавший в 1913 году первый в России университетский курс «Учение о наследственности и эволюции».

Наши соотечественники Н. Дубинин и Д. Ромашов впервые заговорили о генетико-автоматических процессах в популяциях, т. е. о микроэволюционных событиях, не связанных напрямую с естественным отбором. Это значит, что, кроме направленного изменения популяции под действием отбора, частоты генов могут меняться достаточно случайным образом под действием таких факторов, как резкие изменения численности («волны жизни»), соотношения полов и т. п. Интересно, что процесс *случайного генетического дрейфа* ученые смоделировали с помощью «тиражей» с разноцветными шариками, изображавшими различные генные вариации. Эти представления были предтечей будущей *теории нейтрализма*, которая, как казалось, потрясла основы теории эволюции. Но об этом — позже.

БИБЛИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКИ

А теперь пройдем снова тот же исторический путь, но уже по следу формирования представлений о гене как элементарной единице генетической информации. Все началось с менделевских наследственных факторов, названных в 1909 году датчанином В. Иогансеном *генами*. В работах школы Т. Моргана было установлено, что ген, являющийся частью хромосомы, мутирует как целостная структура и контролирует определенный признак организма. Благодаря открытию влияния ионизирующего излучения на мутационный процесс ученые получили инструмент для изучения протяженности, структуры и делимости самого гена, и первенство здесь принадлежит А. Серебровскому, основателю кафедры генетики Московского университета.

Далее Дж. Бидл и Э. Тейтем выдвинули предположение, что один ген кодирует синтез одного фермента. А затем, в исследованиях Дж. Уотсона и Ф. Крика, произошла идентификация гена как участка молекулы ДНК, завершившаяся расшифровкой свойств самого генетического кода. Французские ученые Ф. Жакоб и Ж. Моно открыли явление генетического контроля синтеза ферментов у бактерий, позволившее увидеть реальный механизм регуляции активности генов. С. Бензер и Ч. Яновский установили, что наименьшей изменяемой единицей в пределах гена является пара нуклеотидов. И в этой точке мы от биологических переходим уже к чисто химическим понятиям.

В итоге сформировалась *центральная догма молекулярной биологии*, наиболее полно отражающая представ-

ления о структуре и функционировании гена. Вот она: поток информации, записанной в ДНК, идет от ДНК к информационной РНК, на основе которой затем синтезируется белковая молекула. И обратите внимание — этот поток является дорогой с односторонним движением: информация, попавшая в белок, оттуда не возвращается! Не может быть синтезирована кодирующая последовательность ДНК на основе белковой последовательности аминокислот, что является подтверждением закона о невозможности наследования приобретенных признаков.

Я готов подвергнуться некоторым нападкам, тем не менее утверждаю, что не существует «специальных» механизмов эволюции

ПРИНЦИП ПРИНЦИПУ НЕ ПОМЕХА

Перечисленные выдающиеся результаты породили некую иллюзию, что *все и у всех* построено одинаково. И это казалось довольно справедливым, поскольку на самом деле пути метаболизма у всех живых существ в принципе очень схожи. Например, синтез какого-нибудь нуклеотида одинаков — что у дрожжей, что у человека. Рибосомы — эти цеха по производству белка — устроены практически одинаково у разных организмов. Синтез информационной РНК — тоже универсальный механизм.

Внимательно приглядевшись, мы обнаруживаем скорее талантливые вариации на заданную тему, чем принципиально новые эволюционные приобретения. Возникает закономерное подозрение, что существуют некоторые универсальные конструкции, которые «подтверждаются» на ранних стадиях эволюции, а затем тиражируются и используются самыми разными организмами. Прекрасная иллюстрация одного из основополагающих принципов биологии — *принципа биологической универсальности!*

Но, как и положено по законам философии, этот принцип уравновешивается и дополняется *принципом биологической специфичности*. Например, было установлено, что сама организация наследственного материала и структура генов значительно различаются у разных организмов. Естественным образом рождается вопрос: можно ли выделить какие-то универсальные блоки, найти закономерности в этом генетическом разнообразии живых существ?

БУКЕТ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ

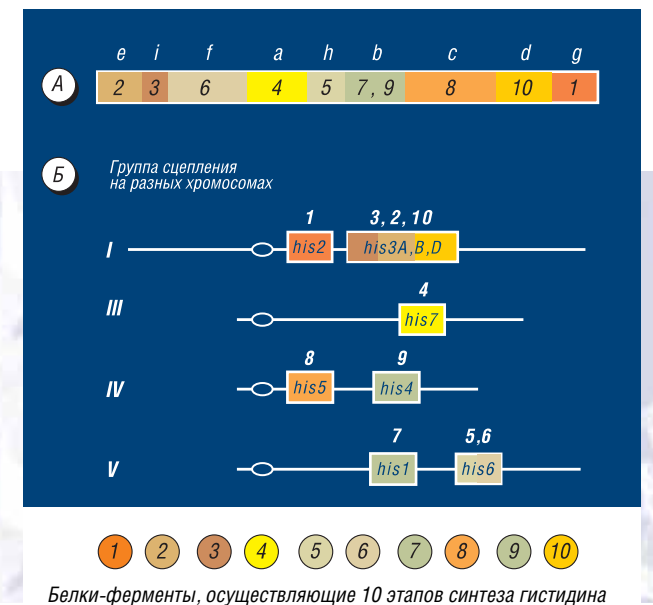
Попробуем выявить эти принципиальные отличия между организмами, сравнивая геномы *прокариот* (одноклеточных организмов, не имеющих клеточного ядра) и *эукариот*, у которых наследственный материал содержится в полноценном клеточном ядре, покрытом оболочкой. Считается, что более «продвинутые» эукариоты произошли от прокариот и «моложе» их примерно на 500 млн лет.

Что же мы видим? Для бактерий, принадлежащих к прокариотам, характерна *оперонная* организация генома. Благодаря этому качеству бактерии способны быстро переключать метаболизм с одного питательного вещества на другой, что помогает им оперативно реагировать на изменения в окружающей среде. При этом структурные гены, кодирующие ферменты определенного пути биосинтеза, объединены у бактерий в *оперон* — группу, имеющую общий регуляторный элемент. На такой матрице синтезируется единая молекула информационной

РНК, на которой закодированы ферменты всех этапов биосинтеза. А вот у эукариот, включая сюда и грибы, опероны не обнаружены, и те же самые структурные гены у них могут быть разбросаны по разным хромосомам. Таким образом, можно выделить первую тенденцию в эволюции генома — *тенденцию к автономизации генов*.

Гены, контролирующие биосинтез аминокислоты *гистидина* у бактерии *Salmonella typhimurium* (А), собраны в оперон, представляющий собой единицу регуляции. Все эти гены «переписываются» на одну молекулу мРНК, которая служит матрицей для синтеза отдельных белков-ферментов, которые и осуществляют все 10 этапов биосинтеза гистидина.

У хлебной плесени *Neurospora crassa* (Б) те же 10 этапов в биосинтезе гистидина кодируют несколько разных генов, разбросанных по разным хромосомам (группам сцепления) (по: Инге-Вечтомов, 1989, с. 479)



Белки-ферменты, осуществляющие 10 этапов синтеза гистидина

В кажущееся противоречие с этой тенденцией вступает другая — стремление к *олигомеризации* генома. Что это значит? Только то, что некоторые гены, ранее существовавшие по отдельности, сливаются в единый ген. А закодированная на нем белковая молекула служит ферментом сразу в нескольких метаболических реакциях. И по мере усложнения биологической организации, от грибов к дрожфиле и человеку, число таких метаболических реакций, осуществляемых одним белком-ферментом, возрастает.

Следующая интересная тенденция — возникновение *мозаичной структуры* гена. Так, у эукариот сам структурный ген состоит из разных участков — *интронов* и *экзонов*. Интроны не являются кодирующими последовательностями и не несут генетической информации. На таком *расщепленном гене* образуется соответствующая молекула РНК, затем участки, соответствующие интронам, вырезаются, а оставшиеся кусочки — *экзоны* — сшиваются вместе. И только эта РНК становится матрицей для синтеза белковой молекулы.

У паразитических созданий появляется еще одно удивительное свойство — *перекрывание генов*. Вирусы, например, имеют очень маленькие геномы, но большие информационные запросы. И они нашли выход из трудного положения: гены у них расположены на манер русской матрешки — один в другом.

Теперь, разобравшись с основными тенденциями в организации генетического материала, переходим к более глобальным обобщениям. Вспомним, что мы живем в эпоху геномики и в настоящее время уже расшифрованы геномы многих организмов. Сегодня мы можем заметить то, о чем лишь интуитивно догадывались: в ходе эволюции число генов увеличивается! Каким же образом возникают новые гены и, соответственно, новые белки и функции?

### МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЧАСЫ ЭВОЛЮЦИИ

Проблема эта довольно сложна, и ее не разрешить одними только горизонтальными генетическими переносами, хотя они, несомненно, тоже «имеют место быть». Популяционная генетика доказала, что возникновение крупных новшеств невозможно объяснить простыми мутациями, как нельзя одними точечными мутациями объяснить происхождение человека от обезьяны. На этот процесс просто не хватает времени — к этому выводу давно пришли умные священники.

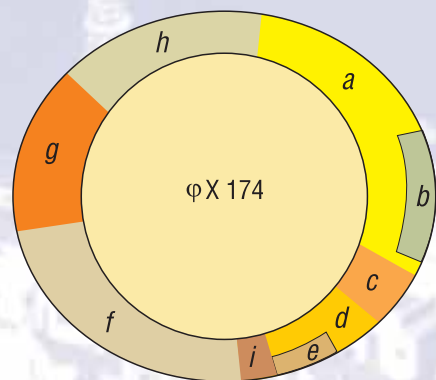
Из-за простых точечных мутаций в популяции возникает *полиморфизм*, т. е. разнообразие вариантов одного гена. Согласно теории *нейтрализма* японца М. Кимуры, в популяции могут сохраняться только те мутации, которые функционально не портят белки (*нейтральные мутации*).

И действительно, до 10 % нуклеотидных последовательностей гена и соответствующих аминокислотных последовательностей белка испытывают такие нейтральные замены без видимого ущерба для работы активных центров белковой молекулы.

На основе этой идеи Э. Цукеркандл и Л. Полинг придумали остроумную и практичную вещь: *молекулярные часы эволюции*. Если на самом деле происходит закрепление нейтральных мутаций, а сам мутационный процесс идет с постоянной скоростью, то по количеству нейтральных замен можно посчитать эволюционное время. К сожалению, в бочке меда, как водится, не обошлось без ложки дегтя: выяснилось, что разные гены накапливают нейтральные мутации с неодинаковой скоростью, а эволюционные деревья, построенные на их основе, могут представлять собой довольно разнокалиберную рощу. Так что без традиционного изучения геологических слоев нам все равно не обойтись.

Формирование молекулярной парадигмы в 60-е годы прошлого века породило иллюзию, наиболее ярко отразившуюся во фразе-каламбуре Жака Моно: *“What is true for E. coli, is true for E. Lephant”* («Что справедливо для кишечной палочки, справедливо и для слона»)

Геном бактериофага  $\Phi$  X174, паразитирующего на бактерии *Escherichia coli* (кишечной палочке), — пример экономного использования носителей генетической информации. Обратите внимание на то, что ген *b* находится внутри гена *a*, а ген *e* перекрывает часть гена *d*. Генетический код на одном и том же участке генетического материала считывается в разных фазах, т. е. со сдвигом на один или два нуклеотида. В результате на одном и том же участке генетического материала можно закодировать два разных белка (по: Ф. Айала, Дж. Кайгер, 1988)



### КОНСТРУКТОР ДЛЯ СОЗДАТЕЛЯ

Но мы немного отвлеклись. Понятно, что за счет точечных мутаций эволюция *не происходит*. Какова же тогда движущая сила эволюционного процесса, а более конкретно — как в природе появляется нечто принципиально новое?

Японец С. Оно предложил простой и понятный механизм: эволюция происходит за счет тиражирования существующих генетических структур и их дальнейшей *дивергенции* (расхождения). При этом даже неважно, откуда в геноме появляются новые копии генов: с помощью мигрирующих генетических элементов или специальных ферментов, *дублирующих* (удваивающих) участки ДНК. Главное, что существует реальная физическая возможность для умножения как отдельных участков и целых хромосом, так и всего генома.

А что потом? Да что угодно! Часть копий может быть утеряна, а часть — сохранена; из разных копий могут потеряться разные гены. Между прочим, если у вас есть две копии одного гена, то одна из них может работать, а другая при этом — беспрепятственно мутировать, как ей вздумается. Эта последняя благополучно ускользает из-под давления естественного отбора и начинает с большой скоростью и без помех накапливать мутации. Так появляются функционально неактивные *псевдогены*. Но не думайте, что такие псевдогены становятся просто мусорной корзиной: их генетический материал может очень пригодиться для создания новых генов. В принципе, время от времени и сами псевдогены способны активироваться, чтобы предстать перед судом естественного отбора.

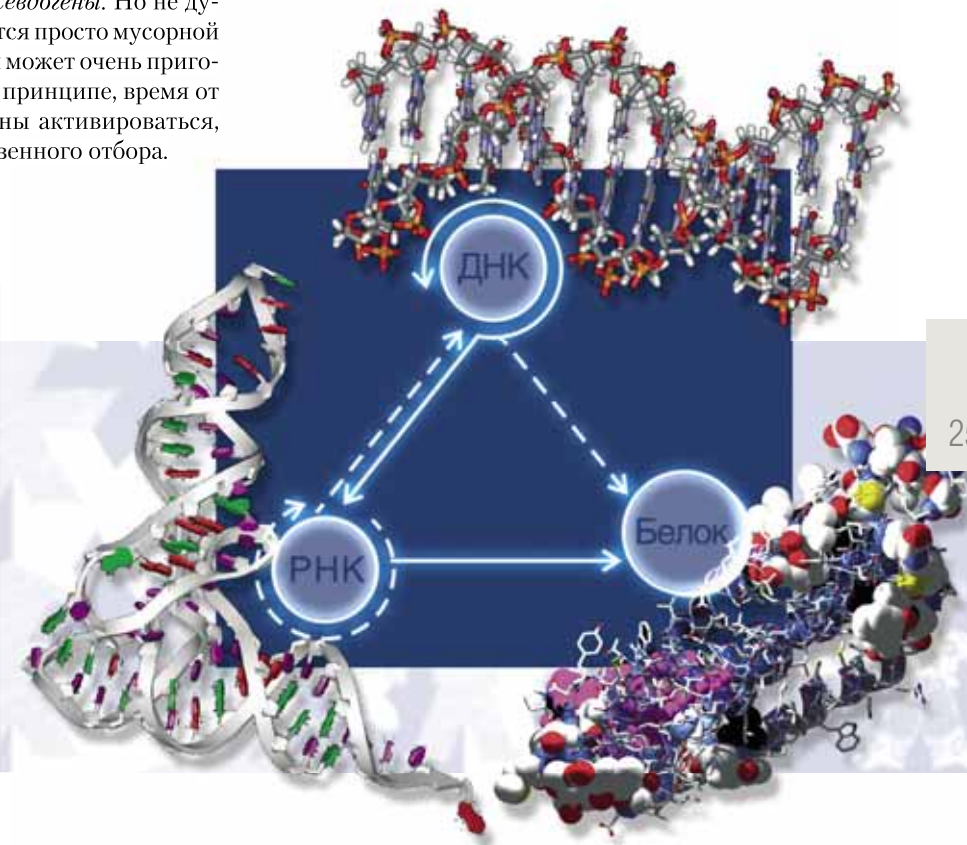
Вообще биология — это наука, где полно исключений. Там есть всё, вопрос только в том, какой удельный вес имеют те или иные феномены

Блочный или блочно-модульный принцип в теории эволюции подразумевает, что все ныне существующее возникло за счет исходно небольшого числа неких инвариантных доменов, которые далее комбинировались в разных сочетаниях

Все высказанные соображения приводят нас к довольно простому и ясному выводу, назовем его *блочный принцип* теории эволюции: все существующее генетическое разнообразие произошло за счет тиражирования и комбинаторики относительно небольшого числа исходных генетических структур. Такой, знаете ли, генетический конструктор, в который наш создатель (не написать ли это слово с прописной буквы?) с успехом играет вот уже многие миллионы лет...

«Центральная догма» молекулярной биологии гласит: генетическая информация, записанная в виде последовательности оснований ДНК, определяет

последовательность оснований дочернего полимера — РНК, а та — последовательность аминокислот в белковой цепи. Прямые линии означают перенос информации, а круговые — воспроизведение молекул. Сплошные линии — процессы обычные, а штриховые — редкие для живых систем. Обратите внимание: перенос информации возможен только от ДНК к белкам, но не в обратном направлении. Фактически «центральная догма» — современный (молекулярный) аналог принципа А. Вейсмана о ненаследовании приобретенных признаков (по: Crick H. F. C., 1958)



# ТРАНСГЕННЫЕ РОДСТВЕННИКИ

*Роль горизонтального переноса генов в эволюции*

*Каким вы представляете себе процесс биологической эволюции? Не правда ли, в воображении так и встает нечто вроде ветвистого родословного древа. Согласно классическим постулатам дарвинизма, в основании эволюционного ствола находятся достаточно просто устроенные «предки», из которых образовались более сложно организованные формы, давшие, в свою очередь, начало новым эволюционным «веточкам». От одноклеточных организмов — к многоклеточным, от беспозвоночных — к рыбам, рептилиям, птицам и млекопитающим. Место каждой группы организмов в эволюционном процессе определялось главным образом на основе их морфофизиологического родства, нередко подкрепленного записями в палеонтологической летописи.*



ШЕСТАКОВ Сергей Васильевич — действительный член РАН, доктор биологических наук, заведующий кафедрой генетики биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, главный научный сотрудник Института общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН. Заслуженный деятель науки РФ и лауреат Государственной премии СССР (1988 г.)

ТЫ — ГЕНОМ, И Я — ГЕНОМ...

В конце XX века для эволюционных построений стало возможным использовать не просто внешнее сходство между видами, но близость их геномов, т. е. совокупности генов и генетических элементов, определяющих все признаки организма. При этом различия в составе генов (участков ДНК, кодирующих молекулы белка и РНК) позволяют судить о степени генетического родства между разными видами организмов.

Первый полный бактериальный геном был дешифрован только в 1995 году. С тех пор число расшифрованных геномов стремительно растет. Сегодня мы имеем реальную возможность на основе сравнительного анализа геномов пересмотреть наши взгляды на пути эволюции и происхождение видов.

Основной несущей конструкцией *молекулярно-генетического древа* являются гены *ортологи*, идущие от одного предка и сходные у всех групп организмов. Они несут информацию о важнейших жизненных характеристиках и в процессе эволюции почти без изменений передаются от простых организмов сложноорганизованным.

Появление новых качеств на самом деле связано не с накоплением градуальных мутаций — это был бы слишком длинный эволюционный процесс. Нет, это импульсные вещи, связанные с тем, что гены от одного организма могут переноситься в другой организм, придавая ему принципиально новые качества

Из ортологов образуются *паралогичные* гены, уже отличные от прототипов, но сходные в пределах одного генома. Благодаря им увеличивается объем генетической информации, обеспечивается специфичность клеток, координация функций и т. п. Происходит постепенное усложнение структуры организмов, отражающее дарвиновский принцип восходящей или *вертикальной эволюции*.

Но это не единственный путь развития. Вспомним про паразитов — здесь реализуется другой тип эволюционных преобразований, связанный с редукцией, упрощением. *Редукционная эволюция* отсекает все «неужное» (гены, функции, *клеточные органеллы*) в целях наилучшего приспособления организма к особым условиям среды. Так, многие патогенные бактерии утратили большое количество генов, поскольку обеспечивают свою жизнь за счет энергетических и метаболических систем клетки хозяина, исповедуя принцип: если можно взять чужое, зачем делать самому? В этом случае наше эволюционное древо начинает расти как бы наоборот — от сложного к простому. Вверх по лестнице, ведущей вниз... В результате такой нисходящей эволюции организмы могут успешно завоевывать узкие экологические ниши.

Эти два типа эволюционных преобразований можно хорошо проследить на классическом «организменном» древе. А вот третий эволюционный тип, связанный с *горизонтальным переносом генов*, стал понятен только благодаря успехам генетики.

Более того, стало ясно, что именно он был главным фактором видообразования у микроорганизмов на ранних этапах биологической эволюции.

### ПЕРВЫЙ ГЕННЫЙ ИНЖЕНЕР

Между прочим, с этим типом генетических преобразований широкая общественность хорошо знакома: кто в наше время не слышал о трансгенных организмах? Эта тема сейчас усиленно муссируется в средствах массовой информации. История генной инженерии насчитывает менее 40 лет, однако первым генным инженером был отнюдь не человек. Сама природа активно использовала в своих эволюционных целях метод, основанный на горизонтальном переносе генов от одного организма к другому через каналы генетических коммуникаций.

В горизонтальном переносе могут участвовать организмы, состоящие в очень отдаленном эволюционном родстве. Даже те, что принадлежат к разным царствам! Гены передаются с различными *векторами* (вирусами, плазмидами, мобильными генетическими элементами) и через различные процессы, при которых или происходит физический контакт между клетками, или в них проникает чужеродная ДНК. Какой-нибудь простейший организм мог просто съесть бактерию и в результате заполучить ее гены в свой геном! Очевидно, что наиболее активный перенос генов должен идти в симбиотических и паразитарных системах, т. е. в сообществах, где наблюдается тесный физический контакт между неродственными организмами.

### ГЕННАЯ МОЗАИКА

С помощью современных методов можно достаточно легко обнаружить в геноме чужие гены, внедренные туда извне путем горизонтального переноса. Исследуя нуклеотидный состав ДНК и частоту встречаемости определенных *кодонов*, узнают, какой из фрагментов генома чужой, а какой — «родной».

Так находят вкрапления в геном чужих сегментов ДНК, попавших в организм относительно недавно (естественно, в эволюционном масштабе). Со временем, за счет геномных перестроек и мутаций, происходит как бы «приобщение», унификация чужих генов, и они перестают отличаться от генов «родных». Кстати, по степени «чужеродности» фрагмента можно рассчитать эволюционный момент его появления в геноме.

Какова же доля генов-иммигрантов в уже расшифрованных геномах? Например, у популяр-

ной *кишечной палочки* около 16 % генома, по-видимому, получено сравнительно недавно — около 100 млн лет назад. У ряда патогенных бактерий доля чужих генов колеблется от 1 до 8 %, а у некоторых свободноживущих бактерий и *археобактерий* она может достигать 20 %.

В геноме *эукариот* также немало генов бактериального или архейного происхождения. В геномах бактерий, в свою очередь, встречаются отдельные гены, типичные для животных или растений. Вообще в большинстве случаев трудно определить, какие конкретно организмы были донорами, поскольку обнаруженные в геномах «чужеродные» вставки могли попасть туда через цепочку промежуточных хозяев. Важен результат: геномы практически всех организмов мозаичны, что подтверждает факт активного генного переноса, в котором в ходе эволюции участвовали самые разные группы организмов.

Кстати сказать, согласно наиболее популярной гипотезе происхождения эукариот сам их геном сформировался при слиянии клетки археи и бактерии, чем и объясняется наличие в нем «древних» генов. Кроме того, считается, что эукариотические внутриклеточные органеллы, имеющие свой наследственный материал, у эукариотов возникли путем эндосимбиоза с бактериями. В ходе этого процесса происходил и горизонтальный перенос генов из бактериальных предшественников митохондрий и хлоропластов в ядерный геном эукариот, что также внесло существенный вклад в мозаичное строение эукариотических геномов.

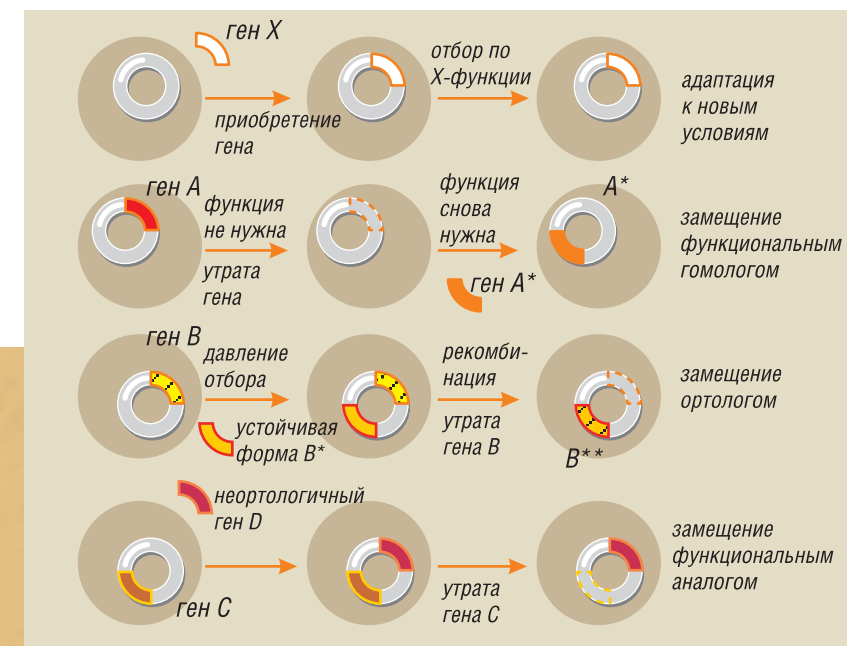
### ЧТО И КАК ПЕРЕДАЕТСЯ

Реже всего переносятся гены «домашнего хозяйства», т. е. гены многокомпонентных информационных систем, ответственных за копирование и передачу наследственной информации, а также за жизненно-важные энергетические процессы. А вот гены, контролирующие клеточные структуры, особенности метаболизма, транспортные пути, переносятся относительно легко. В составе приобретенных сегментов ДНК часто встречаются плазмиды, провирусы, гены белков, облегчающих интеграцию в геном чужеродного генетического материала.

Сегодня исследованы функции лишь 30–40 % генов в составе геномов модельных организмов. Нам может быть известен сам ген и даже понятно, как он построен и где расположен. А вот что он делает в клетке... Именно эти малоизученные «серые кардиналы», для которых нет ортологов в организме-реципиенте, переносятся чаще всего и могут играть важнейшую роль в его приспособлении к изменившимся условиям среды. При этом многие организмы исполняют в горизонтальных переносах роль «проточных емкостей»: какие-то гены приходят, трансформируются, какие-то уходят или деградируют, а в результате баланса этих процессов поддерживается определенный размер генома.

Горизонтальный перенос генов наиболее актуален для микробного мира. У этих организмов отсутствует свойственный высшим формам половой процесс. В связи с этим горизонтальный перенос у них был и является одним из главных способов увеличения и модификации генетической информации. В этом смысле для архей и бактерий вообще не слишком подходит классическое определение «вида» — из-за высокой пластичности геномов и наличия большого «обменного генетического фонда».

По мере усложнения организмов в процессе вертикальной эволюции возникали и совершенствовались барьеры, препятствующие горизон-



Основные направления горизонтального переноса генов

*Объяснение слов, выделенных в тексте статьи простым курсивом*

*Археи (археобактерии)* — микробы, составляющие отдельное царство организмов на эволюционном древе; по строению клеток похожи на типичные безядерные бактерии, но отличаются от них организацией информационных систем, имеющих черты сходства с системами ядерных организмов (грибов, растений, животных).

*Вектор* — созданная на основе ДНК плазмид, вирус или других генетических структур молекулярная конструкция, способная к воспроизведению. Включенные в состав вектора чужеродные гены могут быть перенесены в клетку реципиента.

*Ген* — элементарная генетическая единица, представленная на молекулярном уровне нуклеотидной последовательностью ДНК, кодирующей структуру белка или РНК.

*Генетический элемент* — участок некодирующей последовательности ДНК, который взаимодействует со специфическими белками, участвующими в управлении работой генов, в организации генетического аппарата.

*Геном* — упорядоченная совокупность всех генов и генетических элементов организма.

*Кодон* — единица генетического кода, состоящая из трех нуклеотидов (триплет) и отвечающая за включение в белок определенной аминокислоты; в последовательном расположении кодонов в гене закодирован порядок расположения аминокислот в белке.

*Ортологичные гены (ортологи)* — структурно сходные гены в геномах различных организмов, происходящие от общего предкового гена.

*Паралогичные гены* — сходные в геноме одного организма гены, возникающие из ортологов путем дубликации, но различающиеся между собой в результате накопления мутационных изменений.

*Кишечная палочка (Escherichia coli)* — энтеробактерия, которая является модельным объектом исследований в молекулярной биологии и генетике.

*Эукариоты* — организмы, клетки которых содержат ядро и цитоскелет (простейшие, грибы, растения, животные).

*Клеточные органеллы эукариот* — митохондрии, хлоропласты (энергетические «машины» клетки), обладающие собственным субгеномом.

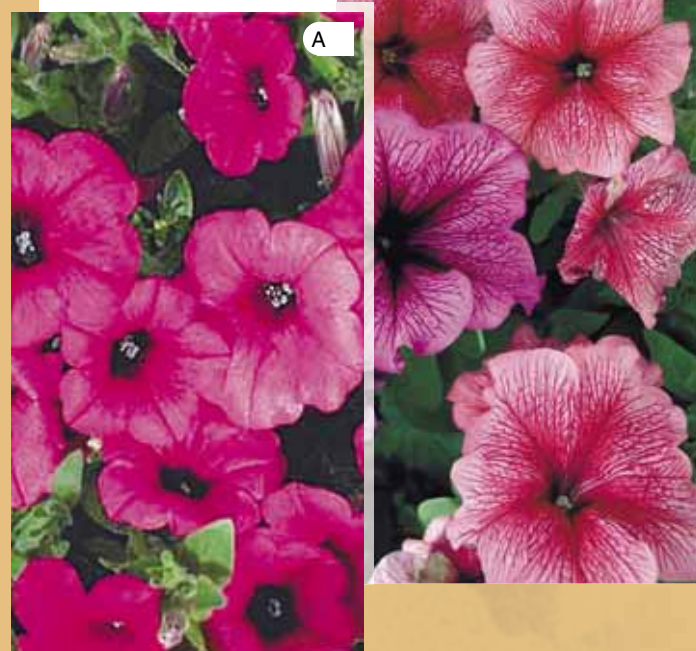
*Трансгенез* — перенос и интеграция чужеродных генов в реципиентный организм с помощью методов генетической инженерии.

тальным генным переносам. Развивались механизмы, обеспечивающие автономность и стабильность собственных геномов. Поэтому частота горизонтальных переносов у высших организмов, обладающих сложным генетическим аппаратом и системами репродуктивной изоляции, должна была автоматически падать: вероятность интеграции чужих генов в геном высших организмов крайне невелика. Этот факт должен успокоить любителей лакомиться трансгенными грушами и другими плодами генной инженерии...

**ПЛОДЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ТРАНСГЕНЕЗА**

Возвращаемся к обсуждению эволюционного древа. Теперь мы в состоянии понять, как схожие генетические элементы вдруг появляются в геномах у организмов, эволюционно весьма удаленных друг от друга. Само название «горизонтальный перенос» достаточно условно, поскольку он может осуществляться, по сути, во многих направлениях, хотя и с разной вероятностью и скоростью. В ходе эволюции возникали самые неожиданные геномные перекресты, связывающие ниточки, а на раннем эволюционном этапе существовало просто какое-то «коммунальное хозяйство», больше напоминающее переплетенные нити грибницы, чем привычное глазу ветвящееся дерево.

Перенос чужеродной ДНК в геном обычной петунии (А) прибавил в мире красоты (Б)



Какие же выгоды может дать биологическому виду естественный трансгенез? Их немало. Можно получить совершенно новый ген, новое качество. Или приобрести паралогичный (функционально похожий на свой собственный) ген и тем самым увеличить разнообразие белков в клетке. Есть шанс обзавестись ортологом из эволюционно далекой группы и таким способом улучшить какую-нибудь функцию, изменить регуляцию клеточных процессов.

Если организм благодаря трансгенезу обзаводится способностью усваивать новый пищевой субстрат, то ему «светит» и «новое место» в жизни. Можно приобрести устойчивость к неблагоприятным факторам среды, токсинам, патогенам — именно таким способом в микробном мире стремительно передается так удручающая нас устойчивость к лекарственным антибиотикам.

Допустим, что приобретенные гены оказываются функциональными дубликатами уже имеющихся. Тоже не беда! Страховка на случай повреждения «родного» гена никогда не помешает. Причем вовсе необязательно, чтобы новый ген сохранился в неизменном автономном виде. Путем рекомбинаций и слияния функционально различающихся участков гена могут образоваться совершенно новые гены, и, соответственно, новые белки с разными клеточными функциями.

Таким образом, горизонтальный перенос генов, радикально меняя свойства организма, значительно расширяет диапазон изменчивости, необходимой для действия факторов естественного отбора. Приобретение «чужих» генов в ряде случаев меняет направление эволюции вида, дает толчок образованию новой популяции, способной вытеснить предсуществующий вид. Роль этого фактора, как источника быстрых эволюционных изменений, особенно велика в периоды глобальных кризисов и катастроф. Не постепенное накопление мутаций, а импульсное, скачкообразное изменение — вот в чем суть горизонтального переноса генов, как одной из движущих сил эволюционного процесса.

*Список литературы*

Doolittle W. F. Lateral genomics Trends Cell Biol. 1999. V. 9. No. 12. M5—M9.  
 Koonin E. V., Makarova K. S., Arvind L. Horizontal gene transfer in prokaryotes: quantification and classification. Annu. Rev. Microbiol. 2001. V. 55. P. 709—742.  
 Brown J. R. Ancient horizontal gene transfer. Nature Rev. Genetics. 2003. V. 4. No. 2. P. 121—132.  
 Horizontal Gene Transfer. Ed. M. Syvanen, C. I. Kado. 2002. Acad. Press. 457 p.  
 Шестаков С. В. О ранних этапах биологической эволюции с позиций геномики // Палеонтологический журнал, 2003. — № 6. — С. 50—57.  
 Шестаков С. В. Инновационная роль горизонтального переноса генов // Успехи современного естествознания, — 2004. — № 6. — С. 18—20.

**НАМ БЫ ПАРУ МИЛЛИОНОВ ЛЕТ**

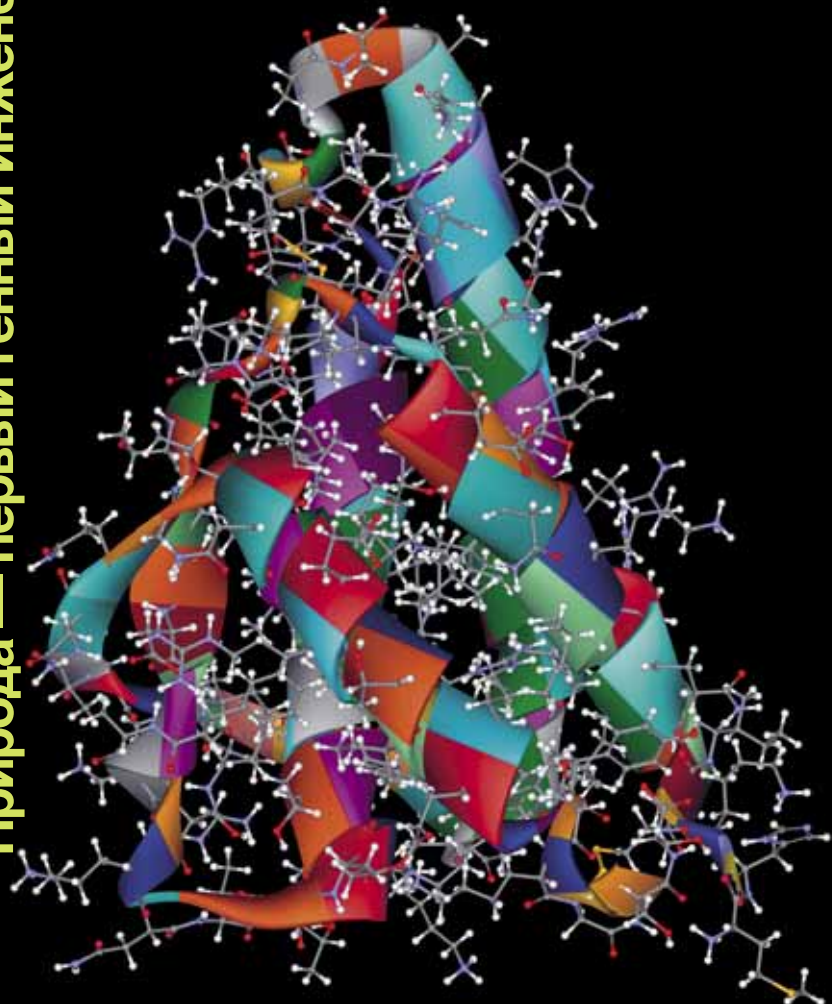
В последние 30 лет человек успешно использует методы генных переносов. Технология генной инженерии позволяет совершать быструю и, более того, направленную генетическую модификацию разных организмов, включая растения и животных.

Каждый из нас уже многократно употребил трансгенную продукцию вместе с пищей и лекарствами. В США, например, уже более 70 % всех продуктов питания содержат ингредиенты, полученные из трансгенных организмов. В России эта доля пока невелика, но будет неуклонно возрастать.

У этого процесса есть свои минусы и плюсы. При той демографической ситуации, которая складывается на планете, в принципе невозможно обойтись без активного использования генетически модифицированных организмов. Ведь ресурсы естественной селекции ограничены. Следует особо подчеркнуть, что «чужие» гены, попадающие в нашу пищу из трансгенных растений, не включаются в геном человека через механизмы горизонтального переноса и поэтому не представляют никакой реальной опасности.

Однако надо отдавать себе отчет в том, что появление в природе организмов, представляющих собой продукт искусственного трансгенеза, может, как и большинство других технологических достижений, влиять на функционирование экологических систем, темпы и направления биологической эволюции. Поэтому нужен жесткий контроль за работами в области генной инженерии. Необходимо тщательное тестирование на биобезопасность, которое сейчас и проходят все новые формы трансгенных организмов. Конечно, жаль, что у нас, в отличие от природы-матушки, нет возможности в течение пары миллионов лет оценить последствия этих генетических экспериментов. Что ж делать! Просто к нашей вере в прогресс нужно прибавить чувство ответственности за будущее биосферы. И тогда нам окажется вполне по плечу роль новой движущей силы эволюционного процесса!





### Главная тема номера: «Природа — первый генный инженер»

Генно-инженерные технологии – одно из самых выдающихся, но и спорных достижений нашего времени. В рубрике «Гипотезы и факты» — о трансгенезе как о естественном и эволюционно-значимом методе, который человек заимствовал у природы. Остановить развитие этого направления современной биотехнологии невозможно даже из соображений безопасности. Многочисленное человечество нуждается в продуктах питания, лекарствах и новых материалах, полученных с помощью ГМО. Пути назад нет...

# ПРИРОДА была первым генным инженером

*Чужеродная ДНК... Для обычного человека от этого словосочетания так и веет неким холодом. В подготовленном СМИ воображении самая «спокойная» ассоциация с ним — милая семейка Адамс, за плечами которой маячит тень Человека-Мухи. И начинает человек лихорадочно вчитываться в этикетки, выискивая sacramентальную аббревиатуру — ГМ. Не обнаружив в этой «печати сатаны», спокойно закусывает генетически «чистыми» колбасой и салатом, «ничтоже сумняшеся» вводя при этом в организм изрядное количество пресловутой ДНК в сыром и вареном виде. «Сначала узнай, чего ты боишься, а уж потом смело бойся». Эти слова, которые никогда не говорил Козьма Прутков, можно сделать эпиграфом к теме об одном из наиболее потрясающих достижений современности — генно-инженерных технологиях.*



ШУМНЫЙ Владимир Константинович — действительный член Российской академии наук, доктор биологических наук, директор Института цитологии и генетики Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск). Заведует кафедрой цитологии и генетики Новосибирского государственного университета. Специалист в области генетики растений: занимается проблемами гетерозиса, полиплоидии, отдаленной гибридизации, в последние годы — клеточной и генной инженерией

## Ноу-хау агробактерии

Можно сказать, что идейным «вдохновителем» современной генной инженерии стала скромная бактерия, которая образует на растениях *корончатые галлы*, аналогичные опухолевым образованиям у животных. Примерно 30 лет назад ученые обнаружили, что эта *агробактерия* обладает удивительной способностью встраивать свои гены в геном растений. Для этого у нее есть *плаزمид* (колечко ДНК) с двумя блоками генов. Один из них обеспечивает транспортировку и встраивание в растительный геном другого блока, который содержит так называемые онкогены. Последние начинают функционировать в растительной клетке и образуют галлы — эти своеобразные «питательные фабрики» для бактерий.

Именно эта природная технология трансформации наследственного материала, заимствованная у бактерий, и легла в основу создания трансгенных растений. Ученые лишь заменили блок онкогенов на различные «полезные» гены, которые улучшают качества получаемых трансгенных растений. Примеры генно-инженерной деятельности Природы на этом не заканчиваются.



Корончатые галлы на свекле — обитель агробактерии, помощника генных инженеров



## Путь длиною в тысячи лет

Человек перешел на оседлый образ жизни и занялся культивированием растений и разведением животных примерно 10–12 тысяч лет тому назад. На первых порах в его распоряжении были только дикие виды растений и животных, т. е. продукты естественной эволюции. На этом материале человек стал проводить *селекцию* (отбор), что, по образному выражению Н. И. Вавилова, тоже является эволюцией, но уже направляемой волей человека и для своих целей.

Прогресс в области молекулярной генетики привел к пониманию, что обмен генами между организмами разных систематических категорий — достаточно обычное явление

То, что мы имеем сегодня в виде сортов культурных растений и пород животных, имеет мало общего как с дикими предками, так и с современными дикими «собратьями». Более того, некоторые виды растений и животных встречаются исключительно в виде культурных форм, а их родоначальники «канули в Ле-

ту». За время 10-тысячелетней селекции произошла колоссальная реорганизация структуры и функции наследственного материала этих организмов, без сомнения, просто несравнимая с итогами генно-инженерной деятельности, которая осуществлялась лишь в течение последних 30–40 лет.

Единственное, что добавил экспериментатор в достаточно «привычном» для человечества деле преобразования геномов — раздвинул и ослабил таксономические ограничения на перенос генетического материала. Создание новых форм организмов стало возможным не только путем отбора полезных мутаций и близкородственных скрещиваний, но и «прямым переносом» нужных генов между представителями разных родов, семейств, типов и даже царств! Это открыло грандиозные перспективы получения растений, животных и микроорганизмов с улучшенными или новыми признаками, т. е. ознаменовало совершенно новый этап в селекции.

## ... и «щепотку» ДНК

Создание и использование *трансгенных* или (как их называют в СМИ) *генетически модифицированных организмов* (ГМО) вызвало в обществе бурные и до сих пор непрекращающиеся дискуссии. Особенно это относится к трансгенным растениям, которые все чаще используются в продуктах питания — их противники, зачастую мало сведущие в этой области, утверждают об опасности потребления ГМ-растений человеком.

Так все же — «есть» или «не есть» чужеродную ДНК?

В связи с этим вопросом давайте вспомним некоторые простые, но редко «востребуемые» биологические акси-

омы. Первое: по своей природе человек, как и все животные и многие микроорганизмы, является гетеротрофом. Это значит, что мы, в отличие от растений-автотрофов, не можем обходиться водой, солнечной энергией и углекислым газом — нет, нам подавай готовые органические вещества! А органика эта, по большей части, заключена в клетках и тканях конкретных организмов, т. е. попадает на наш стол в виде мяса, овощей, яиц и тому подобной гастрономии.

Любая живая клетка содержит в себе наследственный материал в виде ДНК — поэтому около 0,1 % от веса потребляемой нами пищи приходится на чужеродную ДНК. Тысячелетиями в пищевой рацион человека входили представители всех живых царств, начиная от бактерий и грибов. Помимо ДНК зверей, птиц и рыб, мы не отказываемся от растительной (часто предпочитая ее в сыром виде) и ДНК микроорганизмов (начиная от йогурта и заканчивая пивом!).

Однако наши встречи с нуклеиновыми кислотами не ограничиваются «кулинарными» рамками: мы постоянно сталкиваемся с огромным количеством наследственного материала разнообразных вирусов, бактерий, простейших и грибов — наших друзей-симбионтов и паразитов, возбудителей болезней. Бактериальная

В 200-граммовой свиной отбивной содержится почти полграмма чужеродной ДНК — хотя свинья и считается генетически одним из наиболее близких человеку животных

ДНК попадает к нам вместе с вдыхаемым воздухом и пылью. Наша кожа, слизистая пищеварительного тракта и половых путей, наш кишечник заселены мириадами микроорганизмов — до 6 кг на человека! — с которыми мы, по большей части, мирно и с пользой сосуществуем. Более того, наши «квартиранты», как уже упоминалось, могут при этом спокойно обмениваться наследственным материалом — например, передавать ген устойчивости к антибиотикам, — занимаясь «законным»

естественным трансгенезом. А что уж говорить о вирусах, для которых встроить свой наследственный материал в наш геном — обычное дело?

Более того, благодаря прогрессу в области молекулярной генетики и стремительному накоплению данных о структуре геномов микроорганизмов, растений и животных стало понятно, что обмен генами между организмами разных систематических категорий — достаточно обычное явление, играющее определенную роль в эволюции. Подробную информацию о роли горизонтального переноса генов в эволюции читатель может почерпнуть из статьи С. В. Шестакова «Трансгенные родственники».

Между эволюционным феноменом — горизонтальным переносом генов и трансгенезом, осуществляемым в лабораториях, существует очевидное сходство. И в том, и другом случае происходит перенос и экспрессия (работа) чужеродной генетической информации в геноме организма-донора. Только в одном планирование эксперимента и оценка его последствий производится человеком, в другом — арбитром служит естественный отбор.

Между эволюционным феноменом — горизонтальным переносом генов — и трансгенезом, осуществляемым в лабораториях, существует несомненное сходство

Жареная саранча, маринованные медузы, лягушачьи ножки, рокфор с мраморной плесенью... Даже эксклюзивная ДНК этих кулинарных изысков успешно переваривается в человеческих желудках

## Попьешь из копытца — козленочком станешь?

И все-таки, — нужно ли бояться чужой ДНК вообще, и трансгенной, — в частности? Высшие организмы, особенно животные и человек, в процессе эволюции сформировали мощные барьеры нейтрализации чужеродных ДНК. С помощью специальных ферментов — *неспецифических нуклеаз* — они расщепляют их на небольшие, нефункциональные фрагменты, которые являются исходным материалом синтеза функциональных молекул уже для собственных нужд.

В мощном пуле потребляемой человеком чужеродной ДНК доля поступившего с пищей трансгена ничтожно мала: все равно что в ведро воды добавить еще одну каплю! Перед тем, как выпустить ГМО на рынок, их обязательно тщательно тестируют по многим параметрам — на аллергенность, мутагенность, канцерогенность и т. п. Во всех разрешенных случаях их применения встроенные гены кодируют только безопасные для здоровья человека белки. При малейших

Наша кожа, слизистые оболочки и пищеварительный тракт заселены мириадами микроорганизмов (каждый — со своей ДНК!) с которыми мы, по большей части, мирно и с пользой сосуществуем

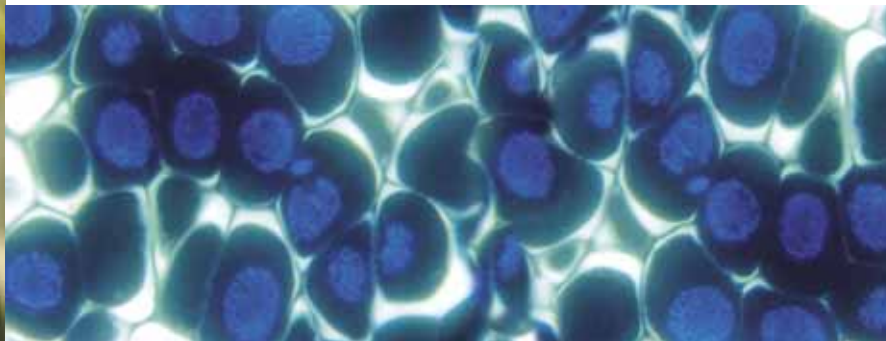


отклонениях от нормы генетически модифицированные организмы к использованию не допускаются. Поэтому крайне трудно представить, какие «катастрофические последствия» для нашего организма может вызвать потребление ГМО — пока в научной литературе такие факты отсутствуют.

Несомненно, мы не до конца знаем механизмы «утилизации» и последствия попадания чужеродной ДНК в клетки желудочно-кишечного тракта человека и животных. Но это скорее общая проблема нашего сосуществования с огромным пулом чужеродных ДНК сотен видов растений, животных и микроорганизмов. Проблема, которая возникла не вчера, и отнюдь не в связи с появлением генно-инженерных технологий. Создание и использование трансгенных организмов просто стимулируют развитие исследований в этом направлении, но вовсе не меняют ситуацию качественно.

Даже запрет на ГМО ни в коей мере не решит проблему «генетической» безопасности, так как ее сложность на порядки выше, и вопрос относительно генетически модифицированных организмов составляет в ней мизерную долю. Тем не менее, подчеркнем еще раз, изучать последствия введения чужеродной ДНК в организм человека с пищей крайне необходимо еще и потому, что это позволит совершенствовать систему тестирования на безопасность ингредиентов, полученных из трансгенных растений.

Табак — растительный аналог белой лабораторной мышки для генетиков. В ИЦиГе получены трансгенные растения табака с генами интерферона, интерлейкинов 10 и 18, туберкулезной палочки, возбудителя гепатита и т. д.



## Будущее — за трансгенами?

В наши дни объемы использования трансгенных растений человеком стремительно растут. Это связано с их улучшенными характеристиками, в том числе с высокой устойчивостью к заболеваниям и вредителям, большей технологичностью возделывания. Благодаря приданию трансгенным растениям устойчивости к насекомым-вредителям (например, картофеля — к колорадскому жуку), снимается необходимость использовать в целях защиты от вредителей химические средства, которые сами по себе являются опасными для организма человека и животных.

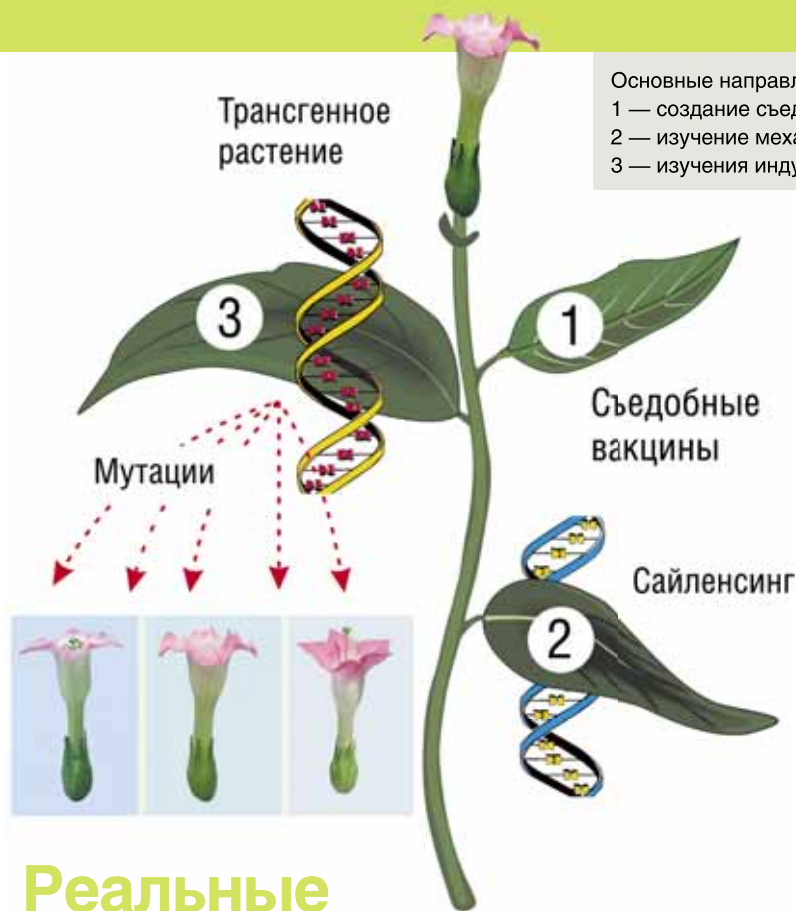
Что же касается последствий использования трансгенных растений и химических средств защиты... Я, например, без колебаний выбираю первое, поскольку отрицательные последствия в данном случае только предполагаются, а во втором — они реальны и доказаны. Но в любом случае, безапелляционное «за» и «против» того или другого безусловно вредно для развития науки. Вместо этого необходимо тщательно изучать все последствия применения новых пищевых продуктов, лекарств, материалов, химических средств, что и делается во многих лабораториях мира. Это длительный, тяжелый и дорогостоящий процесс, которому не следует мешать. Более того, он уже необратим, так как получаемая на многих миллионах гектаров сельскохозяйственная трансгенная продукция уже входит в виде отдельных ингредиентов во множество потребляемых нами продуктов.

Бессмысленно, да и невозможно в биологии и сельском хозяйстве затормозить «технологический прогресс», под которым в данном случае мы подразумеваем селекцию на основе генно-инженерных технологий.

Да и, в конце концов, что такого экстраординарного произошло? По большому счету, мы просто к нашему «обычному» селекционному инструментарию — мутагенезу, полиплоидии, комбинаторике генов, отдаленной гибридизации — добавили перенос генов от более далеких в таксономическом отношении организмов методами, «подсмотренными» у природы. И всего-то, но зато — с какими потрясающими новыми возможностями!

На пути генных инженеров встречается немало трудностей. Например, этот «упрямый» огурец, который «отказался» стать трансгенным растением





Основные направления по трансгенным растениям в ИЦиГ СО РАН:  
 1 — создание съедобных вакцин;  
 2 — изучение механизмов «замолкания» чужеродных генов;  
 3 — изучения индуцированных мутаций

Основная проблема ГМО заключается не в опасности их использования в питании человека и животных. Более серьезные вещи, касающиеся биобезопасности, обычно выпадают из внимания общественности и СМИ

красительным токсином). В результате порог устойчивости у вредителей повышается, что может свести на нет усилия селекционеров. В таких ситуациях нужно просто менять стратегию борьбы с вредителями путем введения новых агентов воздействия.

Вероятно, существуют и другие проблемы использования трансгенных растений, но в любом случае все они, без сомнения, нуждаются в тщательной научной проработке.

## Реальные проблемы трансгенеза

Поскольку, как уже говорилось, все трансгенные продукты проходят тщательное тестирование, основная проблема ГМО заключается вовсе не в опасности их использования в питании человека и животных. Более серьезные вещи, касающиеся биобезопасности, заключаются в другом. Я бы выделил две основные проблемы, обычно выпадающие из внимания широкой общественности и СМИ. Первая — возможная утечка трансгенов к диким сорочкам и последующее нарушение равновесия в природных сообществах; вторая касается взаимоотношений между вредителем и хозяином.

Что касается утечки трансгенов к диким видам, то ее вероятность пока скорее гипотетическая, чем реальная. Например, мы проверяли в эксперименте степень естественной гибридизации культурных и диких видов сои, которая является самоопыляющимся растением. Даже при искусственном нанесении пыльцы мы получили лишь единичные семена, причем в выращенных из них растениях «работающих» трансгенов не было обнаружено. Тем не менее, этот вопрос заслуживает серьезного изучения. Более того, в ряде случаев, очевидно, необходимо вводить технологии изолированного выращивания трансгенных форм, что будет определяться функциональной природой трансгена и видом растения.

Следующий, более сложный вопрос, — *коэволюция* (т. е. совместная эволюция) паразита и хозяина. В том случае, когда мы создаем устойчивые к вредителям формы трансгенных растений, в популяциях вредителей, естественно, также будет идти отбор на более устойчивые формы (например,

## Свет знаний против невежества

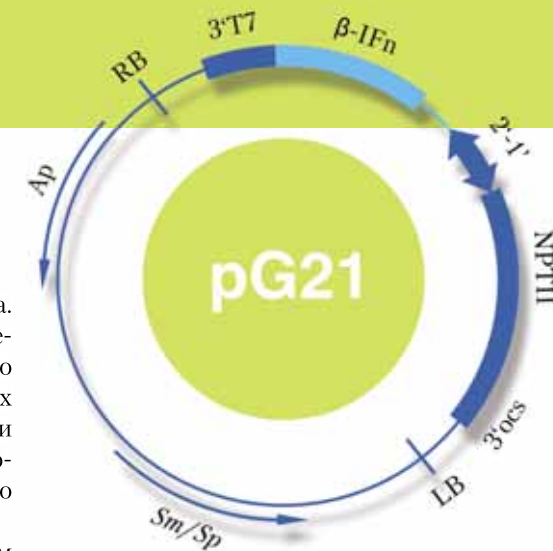
Область возможного применения трансгенных растений очень широка. Они рассматриваются не только как пищевые растения, крайне востребованные в складывающейся на планете демографической ситуации, но и как потенциальные продуценты различных биологически активных веществ. В последнем качестве трансгенные растения пока не получили широкого практического применения. Однако в перспективе это генно-инженерное направление может быть весьма актуальным, особенно это касается производства так называемых съедобных вакцин.

Весьма перспективным представляется также получение посредством трансгенных растений новых материалов для различных целей, в том числе — сверхпрочных. Очевидно, что по мере дальнейшего продвижения научных исследований будет расширяться и сфера применения трансгенных растений.

Не менее заманчивы перспективы использования трансгенных животных. Например, наших обычных буренок и коз можно использовать в качестве «биореакторов», получая вместе с молоком уникальные биологически активные вещества для медицинских целей. Однако в публикуемой подборке материалов мы решили ограничиться растениями, как наиболее практически востребованными.

Внимательный читатель сможет в достаточно полном объеме представить роль комбинаторики и переноса генов, осуществляемых как самой природой в процессе эволюции, так и человечеством в процессе искусственной селекции. Как показывают последние исследования, до 20 % генома микроорганизмов обременено «генетическому воровству» друг у друга. Но этого нельзя прочесть на этикетке пива или биокефира. И когда мы потребляем продукцию трансгенных растений, то должны понимать, что они — лишь

Сотрудник ИЦиГа д. б. н. Е. В. Дейнеко со своими трансгенными «питомцами»

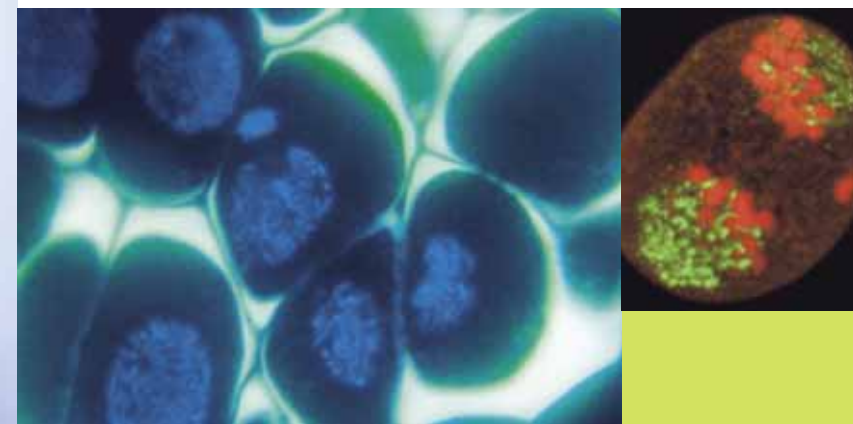


Один из практических аспектов работы по трансгенезу, проводимой в ИЦиГе — создание растений, продуцирующих белки медицинского назначения. На схеме — генетическая конструкция с геном интерферона человека

По мере развития науки страхи перед трансгенными организмами в значительной степени должны будут развеяться

малая толика в том огромном генетическом «поток», который осуществляет генный инженер Природа. Исследователь же пока работает лишь с небольшим набором заранее избранных целевых генов, продукты которых нужны человечеству.

По мере развития науки страхи перед трансгенными организмами в значительной степени должны развеяться. Этому будут способствовать и совершенствование методов тестирования на безопасность, и более детальные исследования по утилизации чужеродной ДНК в организмах животных и человека. И, как это ни банально звучит, большую роль должно сыграть обычное просвещение, далекое от истеричной «массовой информированности». Ведь устраивать поиски черной кошки, которой нет, возможно только в темной комнате!

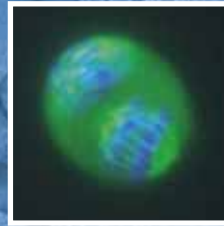
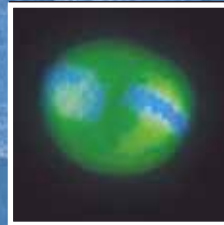
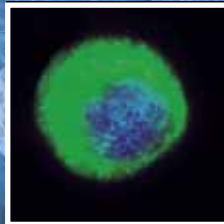


# Легко ли быть Создателем ?

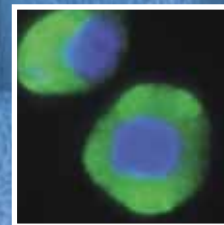
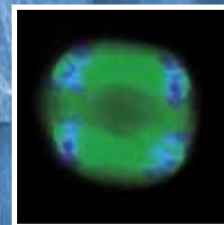
Реалии трансгенеза растений

Помимо утилитарных целей трансгенез служит уникальным инструментом для фундаментальных исследований геномов и их преобразований. Стадии мейотического деления материнских клеток пыльцы растений табака.

Фото Ю. Сидорчука



Ученые — генные инженеры — среди своих «созданий», трансгенных растений табака, в теплице лаборатории гетерозиса растений ИЦиГа СО РАН: Н. В. Пухначева, А. А. Загорская, Ю. В. Сидорчук, Т. В. Новоселя, Е. А. Филипенко



ДЕЙНЕКО Елена Викторовна — доктор биологических наук, заместитель заведующего лабораторией гетерозиса растений Института цитологии и генетики Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск). Сфера научных интересов — культивирование клеток и тканей, генная инженерия растений, которой занимается с 1988 года. Преподает курс «Генетическая инженерия растений» в Томском госуниверситете. Имеет два патента на способ получения трансгенных растений со встроенным геном β-интерферона и интерлейкина-18

Беспрецедентный в человеческой истории научно-технический и технологический взрыв, ознаменовавший конец второго тысячелетия, не обошел и такую традиционную область знания, как биология. Это произошло благодаря рождению новых дисциплин — генетики и ее «дочери» — молекулярной биологии, что позволило манипулировать с носителями наследственной информации, молекулами ДНК, вне живой клетки. Ученые стали генными инженерами и биотехнологами. Используя методы генетической трансформации и культивирования клеток и тканей, они научились создавать «новые» организмы, взяв на себя роль если не бога, то эволюционного процесса.

## Голубые розы, золотой рис...

Достижения в области генной инженерии растений достаточно быстро нашли применение в практике. Так, первые трансгенные растения были созданы в начале 1980-х годов, а через десять лет в Китае уже промышленно выращивали трансгенный табак, устойчивый к гербицидам. В настоящее время мы наблюдаем крупномасштабный выход новых сортов, созданных на основе генетически модифицированных растений; число же видов, на основе которых они были получены, приближается к двумстам!

Использование генно-инженерных методов для переноса генов, определяющих потребительски ценные признаки, открыло большие перспективы для улучшения главных сельскохозяйственных культур. Созданы трансгенные растения, устойчивые к гербицидам, к насекомым-вредителям, вирусам и болезням; растения со сбалансированным составом аминокислот и измененным составом жирных кислот; декоративные сорта с измененной окраской цветов (например, гвоздики, розы и хризантемы голубого цвета).

Можно привести и совершенно потрясающие примеры. В частности, у африканских деревьев (*Dioscoreophyllum cumminisii* и *Thaumatococcus danielli*) были обнаружены удивительные белки — *монеллин* и *тауматамин* — которые в тысячу раз слаще сахара. Гены, контролирующие синтез этих белков, при переносе в другие виды растений (например, клубнику или яблоню) обеспечивают их плодам необычную сладость. А поскольку сладкая компонента представлена здесь не углеводами, а белком, такие растения будут настоящей находкой для больных диабетом, не говоря уж о людях, страдающих избыточным весом.

Крупнейшим успехом геной инженерии явилось создание под руководством швейцарского профессора И. Потрикуса нового сорта риса с повышенным содержанием провитамина А, железа и фолиевой кислоты. Употребление такого «золотого риса» позволит компенсировать нехватку витамина А в повседневном рационе, особенно в странах, испытывающих его дефицит. Еще один сорт риса — высокопродуктивный, устойчивый к засухе и засолению почв — создали американские ученые из Корнельского университета. Они перенесли в растительный геном от обычной палочки (*Echerihia coli*) два гена, контролирующих синтез углевода *трегалозы*, который и обеспечивает высокую устойчивость растений, как к высоким, так и низким температурам.

Пищевые и декоративные трансгенные растения уже пользуются широкой известностью. Кроме того, растет интерес к трансгенным растениям как биопродукентам новых материалов, биологически активных веществ и лекарственных препаратов. Они могли бы стать более дешевым и безопасным источником различных белков медицинского назначения по сравнению с традиционными системами с использованием бактерий, дрожжей, клеточных культур насекомых и млекопитающих. Одно из перспективных направлений — создание трансгенных «съедобных вакцин» для повышения иммунитета у животных и человека.

Потенциальная сфера применения трансгенных растений необычайно широка. Например, уже созданы растения для очищения окружающей среды от различного рода загрязнений, в том числе тяжелых металлов, для биодegradации полимеров и т. д. Сейчас в научно-исследовательских лабораториях мира разрабатываются все новые и новые проекты, поражающие дерзостью замыслов.



Табак (*Nicotiana Tabacum* L.) — излюбленный модельный объект генных инженеров во всем мире. Фото Ю. Сидорчука



К 2003 году выделилось 6 основных производителей генетически модифицированных сельскохозяйственных культур, в числе которых — индустриальные и развивающиеся страны

### Трансгены наступают!

Но перейдем от слов к цифрам — оценим долю генетически модифицированных растений в общемировом «пироге» основных сельскохозяйственных культур.

Сухие статистические сводки отчетливо демонстрируют наступление трансгенных растений на поля производителей. Так, за 8-летний период (1996—2003 гг.) мировые площади под этими культурами возросли в 40 раз, составив более 67 млн га. К 2003 году уже около 7 млн фермеров в 18 странах размещали трансгенные растения на своих полях.

ГМ-культуры выращиваются для коммерческих целей в Южной Африке и Австралии, Индии и Румынии, Уругвае и Испании, в Мексике и на Филиппинах, в Колумбии, Болгарии, Гондурасе, Германии и Индонезии. Главными производителями таких культур в мире считаются США, Аргентина, Канада, Бразилия и Китай. Кстати, обратите внимание, — нашего отечества в этом списке нет!

Среди стран, выращивающих трансгенные растения — 7 индустриальных и 11 развивающихся, причем на долю последних приходится около одной трети всех площадей (20 млн га), занятых трансгенными культурами. Доминируют сорта, устойчивые к гербицидам (соя, кукуруза, рапс и хлопок) и к насекомым-вредителям.

Приведенные данные свидетельствуют о безусловной востребованности и широком выходе в практику достижений генетической инженерии растений. Тем не менее, ее методы и приемы для широкой общественности до сих пор остаются своего рода «черным ящиком», что в значительной мере и обуславливает настороженность многих в отношении ГМ-продуктов. Такого рода опасения носят эмоциональный, психологический характер, поскольку основаны на отсутствии реальных представлений о существовании вопроса. Поэтому остановимся более подробно на основных этапах и методах создания трансгенных растений, сравнивая это направление с традиционными методами селекции.

### Фантастическая явь

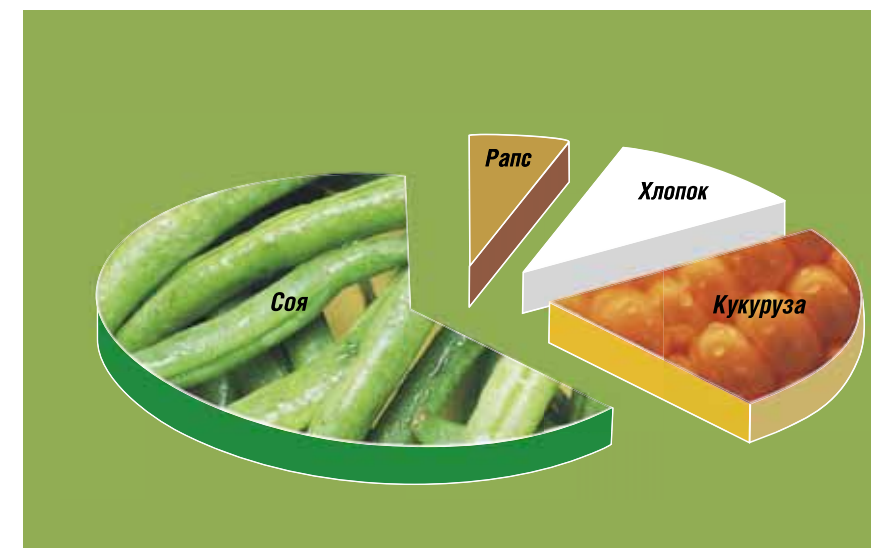
В чем суть геной инженерии? — В целенаправленной экспериментальной модификации генома организма за счет внесения отдельных новых генов. Сразу же зададим себе вопрос: а чем, собственно, эти методы принципиально отличаются от давно существующих методов селекции, на которых до недавнего времени была основана вся технология получения новых сортов растений?

Первое, что необходимо подчеркнуть: как в том, так и в другом случае, в геном будущего сорта переносятся новые, желаемые гены, существенно различаются лишь способы их «доставки».

Традиционные методы селекции основаны на объединении желаемых генов в геноме гибридного растения, что происходит в результате переопыления растений — «доноров» необходимых для селекционера признаков. Методами же геной инженерии нужные гены изолируют (*клонировуют*) и целенаправленно переносят в клетки организма-реципиента. Таким образом, изменяется лишь «внешняя форма», но не сама суть методов.

Однако в результатах есть существенное различие: традиционные методы селекции позволяют объединять в геноме гибридов генетическую информацию только близкородственных, скрещивающихся между собой видов. В то время как гено-инженерный подход дает уникальную возможность перестраивать геном растения с использованием наследственной информации из совершенно других систем — вирусов, бактерий, насекомых, животных. Само собой разумеется, что при этом существенно расширяются возможности модификации генома и внутри самого растительного царства, снимаются естественные барьеры между систематически

В наше время неоспоримой трансгенной «царицей полей» стала соя



## Вt-защищенный картофель — первая трансгенная «ласточка» отечественной селекции

Картофель — одна из основных сельскохозяйственных культур в России. Стабильность в снабжении этим питательным и доступным продуктом существенна для продовольственной безопасности страны. Однако урожайность картофеля остается достаточно низкой, а производители сталкиваются с постоянной проблемой защиты его от вредителей и болезней.

Главным незаконным «едоком картофеля» является колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata*), который уже к 1992 году «завоевал» площадь около 2,5 млн га. Потенциальные потери урожая от жука оцениваются в 4,1 млн тонн на сумму 19,4 млрд рублей. Поскольку более 90% картофеля выращивается в частном секторе (где без соответствующих обработок может погибнуть до 100% урожая), некоторые эксперты оценивают реальные потери в 2–3 млрд долларов ежегодно!

В рамках традиционной селекции не удается получить сорта картофеля, устойчивые к колорадскому жуку. Поэтому существует острая необходимость создания новых сортов методами современной биотехнологии, в частности — генетической инженерии. Новые сорта помогут не только снизить потери урожая, но и уменьшить пестицидную нагрузку на сельхозугодья, что положительно скажется на здоровье населения.

Общепризнанной стратегией создания ГМ-растений, устойчивых к насекомым-вредителям, является использование естественных природных инсектицидов — белков ( $\delta$ -эндотоксинов), гены которых были клонированы из бактерии *Bacillus thuringiensis*. Такие Вt-защищенные кукуруза, хлопчатник и картофель были внедрены в сельскохозяйственную практику в США в 1995–1996 гг. Широкомасштабные испытания и длительный опыт использования в сельском хозяйстве разных стран подтвердили безопасность продукции из Вt-культур для человека и окружающей среды.

Эти аргументы и стали предпосылкой для начала и успешной реализации одного из самых крупномасштабных проектов в области биотехнологии сельскохозяйственных растений в Российской Федерации — создания Вt-защищенного картофеля на основе сортов российской селекции, о котором мы расскажем в одном из будущих номеров журнала.

к. б. н. Дмитрий Дорохов,  
заместитель директора Центра  
«Биоинженерия» РАН

удаленными видами, например, — однодольными и двудольными растениями.

Таким образом, методы генной инженерии являются очень «логичным» дополнением к традиционным селекционно-генетическим методам. Они позволяют до таких размеров раздвинуть границы формообразовательного процесса при создании исходного материала, о каких селекционер раньше не мог и мечтать.

## Генная инженерия против «любителя картошки»

В современных технологиях создания трансгенных растений можно выделить несколько основных этапов:

а) клонирование «нужных» генов и создание генетических конструкций, которые могут экспрессироваться (работать) в растительных геномах;

б) перенос созданных генетических конструкций в геном растения;

в) оценка трансгенных растений по стабильности экспрессии перенесенных генов и отбор отдельных растений-трансформантов для дальнейшей селекционной доработки;

г) оценка биобезопасности трансгенов.

К настоящему времени уровень развития генно-инженерных методов позволяет клонировать самые разнообразные гены в зависимости от поставленных в конкретном биотехнологическом проекте целей и задач. Рассмотрим отдельные этапы этого процесса на конкретном примере, а именно — на любимой нами картошке, заслуженно считающейся в России «вторым хлебом».

Несмотря на то, что в нашей стране возделывается много высокопродуктивных сортов картофеля, адаптированных к широкому спектру природных условий, около трети всего урожая теряется из-за болезней и вредителей. Врагом № 1 заслуженно считается колорадский жук, впервые появившейся на территории России около 50 лет назад. Для борьбы с ним ранее широко применялись химические методы, небезопасные и загрязнявшие окружающую среду. В качестве экологически безопасной альтернативы был разработан целый арсенал биологических методов, один из которых основан на использовании специфического белка, синтезируемого энтомопатогенными бактериями *Bacillus thuringiensis*.

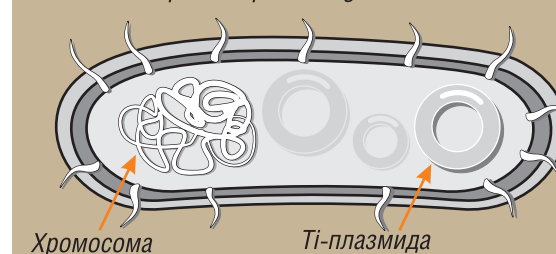
Данный белок при попадании в кишечник вредителя расщепляется, образуя активизированный токсин, что приводит к гибели насекомого. В ряде стран уже в течение многих лет с помощью различных штаммов *B. thuringiensis* в промышленных условиях нарабатываются нужные количества инсектицидного белкового препарата. Полученный инсектицид распыляется на листья и проникает в организм «любителя картофеля»

вместе с пищей. Нетрудно себе представить, что при распылении препарата он легко попадает также и в окружающую среду, тем более что при таком способе нанесения его невозможно точно дозировать.

Что же предлагает генная инженерия для того, чтобы уберечь картофель от прожорливого насекомого? А предлагает она тот же самый метод защиты с одной лишь разницей — растение само должно накапливать нужный белок в листьях. Достигается это тем, что ген *CryA* из бактерии *B. thuringiensis* переносится в ДНК картофеля и становится неотъемлемой частью его генома. Более того, перенесенный ген «заставляет» работать только в определенных частях растения, например, в листьях, а не в клубнях, которые попадают к нам на стол.

Только 2 из 14 известных в природе видов почвенных бактерий рода *Agrobacterium* заражают растения. Встраивая фрагменты своей ДНК в геном растений, они вызывают у последних образование опухолей — галлов, в которых бактерии находят «кров и стол». Фото Ю. Сидорчука

Почвенная агробактерия — *Agrobacterium tumefaciens*



## Колечки из ДНК

Как же происходит создание генетической конструкции для переноса выделенного гена в наш «модельный» объект — растение картофеля?

Первый этап — сбор насекомых (колорадских жуков), погибших в естественных условиях от бактериального энтомотоксина. Бактерии с тела жука переносят на специальные чашки Петри и размножают на питательных средах, а выросшие колонии отбирают под микроскопом. Затем из бактерий выделяют ДНК.

Известно, что у бактерий гены располагаются не только в хромосомах, как у высших организмов, но и в плазмидах — небольших кольцевых молекулах ДНК. В частности, нужный нам ген *CryA* локализован именно на одной из таких плазмид. Выделенные плазмиды обрабатываются специальными ферментами, представляющими собой «молекулярные ножницы», разрезающие плазмидную ДНК на отдельные фрагменты.

Фрагмент с искомым геном переносится в плазмиду кишечной палочки, которая в данном случае служит «копировальной машиной», так как именно в ней достаточно быстро образуется много копий нужного гена. Затем гены вновь переносятся в плазмиду, но уже другой бактерии — почвенной агробактерии *Agrobacterium tumefaciens*. И вот о ней стоит поговорить особо.

## Агробактерия — «перевозчик» для генов

В настоящее время наиболее распространенным методом переноса чужеродных генов в клетки растений (в особенности представителей класса двудольных) является использование почвенных бактерий рода *Agrobacterium*, чаще всего — *A. tumefaciens*, вызывающих у растений болезнь *корончатые галлы*.

Корончатые галлы образуются в результате проникновения агробактерий в места поранения или повреждения поверхности растений грызунами насекомыми. При этом сама почвенная бактерия в растительные клетки не проникает, а «посылает» туда только небольшой фрагмент ДНК, который располагается на плазмиде между двумя сигнальными районами. Эти районы представляют собой повторы из 25 пар нуклеотидов, которые «распознаются» специальными ферментами в тот самый момент, когда почвенная бактерия присоединяется к пораненной растительной клетке. Фермент разрезает нить ДНК между двумя сигнальными районами. Затем к ней присоединяются различные белки, защищающие и переносящие нить ДНК в цитоплазму и далее — в ядро растительной клетки. Фрагмент ДНК бактерии встраивается непосредственно в ДНК растения, и бактериальные гены начинают функционировать наравне с собственными генами растения. В результате

метаболизм растительной клетки меняется и в ней начинается синтез веществ, служащих источниками питания для агробактерий.

Фрагмент ДНК плазмиды *A. tumefaciens* получил специальное название — тДНК (от англ. *transfer* — «перенос»). тДНК сыграла неоценимую роль в развитии стратегий генно-инженерной модификации растений: взяв за основу эту уникальную природную особенность бактерии, генные инженеры заменяют бактериальные гены на те, которые представляют интерес для исследователя. Тем не менее, эта удобная система для переноса чужеродных генов не является универсальной, поскольку подходит в основном для двудольных растений. Что касается большой группы однодольных, куда относятся и такие важные для сельского хозяйства культуры, как хлебные злаки, то здесь она малоэффективна, поскольку эти растения устойчивы к заражению агробактериями. В этих случаях используются методы прямого переноса генов, одним из которых является доставка фрагментов ДНК на частичках из золота или вольфрама с помощью «генной пушки».



Чтобы отобрать трансгенные растения, после трансформации агробактериями кусочки листовых пластинок табака регенерируют на среде с добавлением канамицина, губительного для растений. Поскольку вместе с целевым геном в табак встраивают ген устойчивости к этому антибиотику, выживают только трансгенные растения.  
Фото В. Прасолова

### Нелегкая эта работа...

Но вот фрагмент ДНК доставлен в клетку растения и интегрирован в ядерный геном. Клетка получает новый статус — генетически модифицированной. На следующем этапе экспериментатору необходимо отделить трансгенные клетки от нетрансгенных, размножить их и восстановить (регенерировать) из них полноценные растения.

Для этого вместе с целевыми генами (в нашем «картофельном» примере — геном *CryA*) одновременно в растения переносят также ген устойчивости к антибиотику, губительному для растительного организма. Присутствие такого гена в растительной клетке дает ей возможность выживать и расти на специальных средах с добавлением антибиотика, а экспериментатору — отобрать трансгенные клетки. Так, например, перенос гена *nptII* придает растительным клеткам устойчивость к антибиотику *канамицину*.

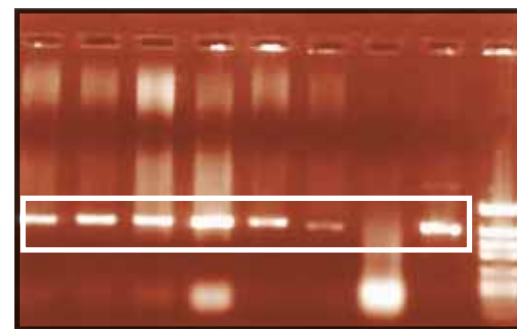
Проведя сортировку клеток в условиях селективной среды и размножив отобранные трансгенные клетки, экспериментатор затем переносит их на среды специального состава с добавлением фитогормонов для восстановления целого растения. В условиях *in vitro*, т. е. в пробирке, регенерировавшие растения подращивают и переносят в теплицу.

Но работа на этом не заканчивается, а лишь вступает в новую кропотливую фазу. Во-первых, необходимо доказать наличие в геноме данных растений перенесенного фрагмента ДНК с целевым геном. Затем показать, что перенесенные гены не просто «существуют», но и экспрессируются в новом геномном окружении. А еще они должны не нарушать работу других генов, т. е. не вызывать мутации, а также сохраняться и передаваться потомкам... В общем, не будем далее останавливаться на деталях генно-инженерной «кухни», чтобы окончательно не утомить читателя.



Генную трансформацию растений можно осуществить, «расстреляв» клеточную культуру из «генной пушки».  
Фото Ю. Сидорчука

7 13 15 18 21 28 K- K+ M

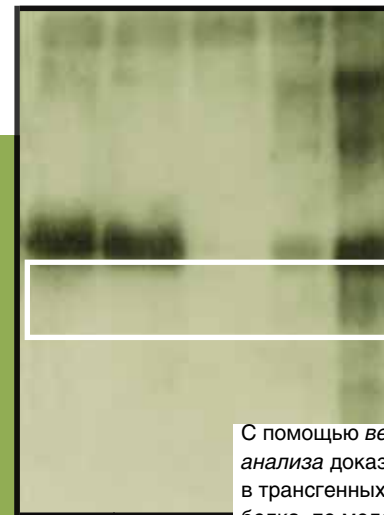


711 bp  
489 bp

Наличие в геноме растений табака фрагмента ДНК, соответствующего по размерам целевому гену интерлейкина-18, подтверждено электрофоретическим анализом продуктов ПЦР-реакции

7–28 — номера отобранных растений;  
K- — контроль (ДНК нетрансгенного растения);  
K+ — ДНК трансгенной плазмиды

7 15 H K+ Б



20 kDa

С помощью вестерн-блот-анализа доказано присутствие в трансгенных растениях табака белка, по молекулярной массе соответствующего интерлейкину-18 человека, полученного из клеток кишечной палочки *E. coli*

7, 15 — номера трансгенных растений;  
H — нетрансгенное растение;  
K+ — нетрансгенное растение с интерлейкином-18;  
Б — рекомбинантный интерлейкин-18 из *E. coli*

### Россия — трансгенный «офф-шор»?

Итак, трансгенные, хорошо «работающие» растения получены. С этого момента и до выхода ГМ-растений в практику начинается большая и трудоемкая работа по санитарно-гигиенической экспертизе: оценивается соответствие химического состава исходных и трансгенных растений; проверяется — не ухудшилась ли биологическая ценность и усвояемость продуктов, приготовленных из генетически модифицированных растений; изучается — не вызывают ли отдельные компоненты аллергических реакций, не являются ли они канцерогенными, токсичными или мутагенными, не окажут ли негативного влияния на репродуктивные функции животных и человека? — В результате трансгенный картофельный клубень может оказаться намного более безопасным для здоровья, нежели картошка с огорода, притулившегося к скоростной магистрали, обильно поливаемая старыми «добрыми» инсектицидами.

Испытания на биобезопасность трансгенных растений включают в себя и оценку возможных путей переноса встроженных трансгенов в другие организмы, в частности — в близкородственные виды путем их естественного переопыления. Кроме того, изучается влияние новых генов на подверженность трансгенных растений болезням и вредителям, а также влияние самих генетически модифицированных растений на почвенную микрофлору и другие составляющие биоценоза.

В странах, где выращивают трансгенные растения, созданы специальные комиссии для их проверки и регистрации. В России регистрацию трансгенных растений координирует Межведомственная комиссия по проблемам генно-инженерной деятельности, созданная Правительством РФ в 1997 году.

Вообще же деятельность в области биотехнологий регулируют более 150 законов, постановлений и нормативных актов. При этом, как уже упоминалось, собственных посевных площадей, занятых ГМ-культурами, в России нет, как практически нет и трансгенных сортов отечественной селекции. И причина этого заключается не в том, что все россияне дружно проголосовали против ГМО, скорее — в отношении нашего государства и общества к генетике, считающейся в развитых странах арьергардом современной науки.







*Все-таки мы, люди, устроены одинаково. Мы можем с жаром рассуждать о вреде трансгенной картошки, о содержании «мутантной» сое в колбасе, о засилье на нашем столе «пищи Франкенштейна»... Но, обратите внимание — лишь в случае, когда речь идет о хлебе насущном. Но если, не дай бог, жизнь заставит нас не по книжкам выучить пугающие медицинские термины, — разве будем мы выяснять, откуда, из какого источника пришла к нам помощь? И кто из поборников «генетической чистоты» оттолкнет руку, исцеляющую его ребенка «трансгенным» лекарством?*



#### БИОТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

Гормоны, цитокины, факторы роста, ферменты... Список этих, ставших нам необходимыми, фармацевтических белков самого разного назначения необычайно велик. Как, кстати, широк и спектр заболеваний, которым подвержено наше стремительно умножающееся и «стареющее» человечество в попытке «ускользнуть» из-под действия естественного отбора. Многие из этих фармацевтических препаратов входят в группу «самых дорогих» лекарств. Тем не менее, потребность в них, и сейчас покрываемая недостаточно, с течением времени будет только возрастать.

К сожалению, мало кто задумывается о том, что именно успехи в развитии генно-инженерных технологий открыли новые, небывало широкие возможности для получения белков терапевтического назначения, сделав их более массовыми и доступными. Для этой цели сейчас широко используются генетически трансформированные клетки бактерий, дрожжей, млекопитающих

и насекомых. Однако у этих, ставших уже традиционными, систем есть существенные недостатки.

Например, в клетках бактерий возможна модификация и неправильная «сборка» молекул белка, синтезированных на «матрице» встроенных генов высших организмов. Клетки животных могут нести в себе опасные для человека вирусы и прионы, печально известные нам по «коровьему бешенству». Да и себестоимость *рекомбинантных* (трансгенных) белков, полученных из таких систем, достаточно высока.

Какой же выход предлагает нам биотехнология? Альтернативой является использование трансгенных растений. Выращивание растений не требует дорогостоящего оборудования, оно может идти в больших, сельскохозяйственных масштабах. Трансгенный перенос и регенерация у растений происходит значительно проще по сравнению с животными. А целевой белок в ряде случаев можно даже не выделять — просто съесть

вместе с «носителем», бананом или салатом. Возможность получения из растений рекомбинантных белков, не уступающим по биологической активности аналогам из других систем, уже доказана исследованиями ведущих биотехнологических центров мира.

Подобные работы ведутся и в Новосибирске *Институтом цитологии и генетики СО РАН* совместно с партнерами — *Институтом химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН* и *Институтом клинической иммунологии СО РАМН*. Трансгенным плодом этого научного триумвирата в буквальном смысле стала морковь с «человеческим» геном, кодирующим *интерлейкин-18*.

#### БАНАНЫ В СИБИРИ НЕ РАСТУТ



И все же — почему именно морковь? Достоинств у моркови несколько. Во-первых, бананы в Сибири растут плохо, а она и на вкус в любом виде хороша, и неприхотлива, и храниться может долго. Во-вторых, чтобы перенести чужеродный ген в какое-нибудь растение, нужно иметь для него еще и отработанную систему генетической трансформации. Плюс — отработанную систему регенерации, т. е. восстановления целого растения из отдельных трансформированных клеток. И для моркови — все это имеется.

Кстати сказать, «дублером» морковки в нашем случае выступил табак — один из самых «излюбленных» модельных объектов генных инженеров. Именно на этом, к сожалению, малосъедобном объекте исследователи и отработали все манипуляции по переносу гена интерлейкина-8. А вот чтобы понять, для чего вообще этот «огород городился», сделаем небольшой экскурс в иммунологию.

Задача иммунной системы — защищать наш организм от проникающих патологических агентов, а заодно исполнять и работу «внутренней полиции». Одним из результатов иммунной несостоятельности организма является неконтролируемый рост собственных клеток, приводящий к развитию злокачественных новообразований. При недостаточности иммунного ответа необходимо активизировать защитные силы организма с помощью различных *иммуностимуляторов*. К ним относятся, например, цитокины и пептиды, в том числе — и наш интерлейкин-18.

Интерлейкин-18 (ИЛ-18) постоянно образуется в организме человека и участвует в формировании врожденного и приобретенного иммунитета. Однако

Белая «фата», окутывающая цветы трансгенной морковки, препятствует переопылению растений



иногда его продуцируется недостаточно, а при некоторых вирусных заболеваниях образуется особый белок, который снижает активность ИЛ-18. В таких случаях пациентам для активации иммунитета необходимо дополнительное введение ИЛ-18, получаемого в настоящее время из генетически трансформированной кишечной палочки *E. coli*.

Но это не только дорого, но и небезопасно, поскольку обычная длительная терапия противовоспалительными протеинами сопровождается побочными эффектами: воспалением слизистой кишечника, поражением печени, снижением веса и т. д. Да и саму процедуру внутривенного введения интерлейкина — например, при иммунотерапии рака, — особенно приятной не назовешь: 24 часа под капельницей, а в качестве побочных эффектов — лихорадочное состояние, повышение температуры тела. И если бы ее можно было заменить несколькими порциями морковного салата...



МОРКОВНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ



В «подопытную» морковку была встроена специальная генетическая конструкция, сконструированная сотрудниками группы фармагеномики ИХБиФМ и лаборатории гетерозиса растений ИЦиГа. Это ведь только так говорится — «встроили ген». Поскольку трансген должен успешно работать в новом генном окружении, синтезированный белок — хорошо выделяться из растения и т. п, то генные конструкторы снабжают целевой ген целым рядом «помощников», что хорошо видно из приведенной схемы.

В ИЦиГе полученным вектором-переносчиком — плазмидой *pVi101-IL18* — были, по принятой методике, трансформированы агробактерии, эти широко известные природные «генные инженеры». При совместной культивации трансформированных агробактерий и листовых дисков моркови бактериальные плазмиды, несущие ген интерлейкина, встроились в растительные хромосомы. Затем — регенерация отдельных клеток до целого растения, отбор трансгенных особей на селективной среде с антибиотиком, доращивание растений в фитотроне. И, наконец, у нас в руках вождельный корнеплод!

Но, увы, — это еще далеко не конечный продукт, и уж тем более не конечная стадия работы генного инженера. Встроить трансген — полдела, потом начинается тяжелая и кропотливая работа по отбору растений, которые будут хорошими продуцентами нужного белка.

Во-первых, поскольку сам генный перенос осуществляется достаточно случайным образом, в хромосомы растения может встроиться множество копий бактериальной тДНК с целевым геном. Однако для дальнейшей селекции предпочтительны растения только с одной вставкой, что позволяет в какой-то мере избежать досадного «умолкания» гена у потомков.

Кроме этого, нужно точно установить, в какое конкретное место произошла встройка гена, проанализировать ближайшие районы ДНК. Ген должен не только «присутствовать» в клетке, но и хорошо работать, — поэтому в растениях нужно определить наличие и концентрацию рекомбинантного белка. И главное — необходимо отобрать особи, у потомков которых ген будет устойчиво функционировать, не меняя уровень экспрессии. Для этого, например, у трансгенного табака, не-



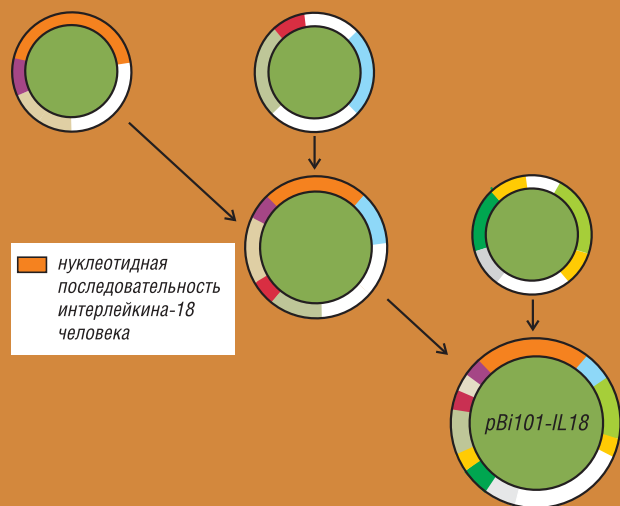
1

сущего ген интерлейкина-8, было прослежено семь поколений (Дейнеко, 2004), у моркови же пока — только первое, не считая родительского.

В результате селекционеры отбирают единичные растения с нужными признаками, у которых есть шанс «выйти в люди». Но путь этот очень долог, и очень дорог... И дорог не только в прямом, но и в переносном смысле, ведь стоимость его измеряется человеческим здоровьем, а иногда — и жизнью.

Требуются много профессиональных навыков, терпения и трудолюбия, чтобы из трансформированной клеточной культуры вырастить взрослые плодоносящие растения. Фото 1—6

Почему генных инженеров называют инженерами? Потому что в геномы встраивают не просто кусочек чужеродной ДНК, а настоящие генетические конструкции. На схеме показаны этапы конструирования плазмиды *pVi101-IL18* - вектора-переносчика гена человеческого интерлейкина-18



2



4



5



6



3





### ПОДОЖДЕМ ДО МОРКОВКИНА ЗАГОВЕНЬЯ?

У трансгенных растений — продуцентов фармацевтических белков — в отличие от пищевых, путь к нашему столу удлиняется на стадию клинических испытаний.

Первыми «дегустаторами» нашей трансгенной морковки стали лабораторные мыши. Именно этим безотказным работникам под «присмотром» сотрудников лаборатории молекулярной генетики НИИКИ была доверена оценка эффективности фармацевтического белка, заключенного во вкусную оранжевую «пилюлю». Шустрые хвостатые испытатели в течение двух недель бодро грызли корнеплоды, неотличимые по виду и цвету от родительского сорта — популярной *Нантской*.

Нужно заметить, что доставка нужного фактора в организм посредством растений происходит более мягко и физиологично по сравнению с обычными инъекциями. Генетически трансформированная растительная клетка представляет собой своеобразную микропилюлю, в которой небольшие дозы препарата как капсулой покрыты растительной оболочкой. Она не только защищает белок от преждевременной дезактивации в желудке под воздействием соляной кислоты и ферментов поджелудочной железы, но и, медленно разрушаясь, обеспечивает постепенное высвобождение препарата.



Один из стандартных методов оценки иммунного статуса организма — стимуляция неспецифического иммунитета инъекцией эритроцитов барана. Силу иммунного ответа оценивают по степени выраженности ГЗТ (гиперчувствительности замедленного типа), иначе — по размеру припухлости в месте инъекции



Белок из трансгенных растений усваивается в нашем кишечном тракте так же, как и любые другие протеины. Пока нет свидетельств, что интерлейкин может попасть в кровотока через кишечные стенки «целиком». Однако, даже расщепленный на отдельные пептиды, он способен оказывать стимулирующее действие на иммунные реакции.

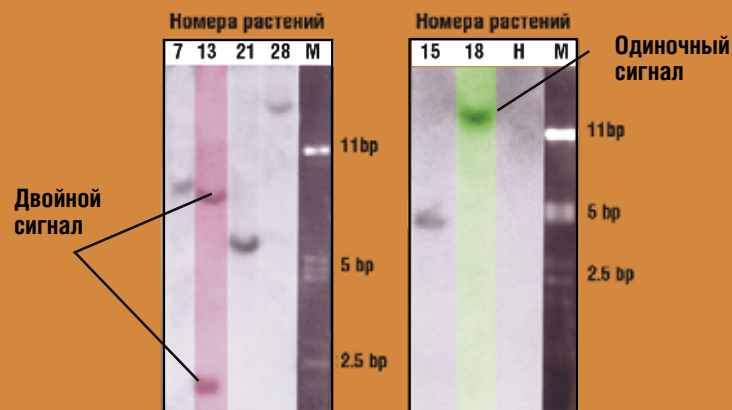
Но вернемся к нашим хвостатым пациентам. Благодаря потреблению трансгенной морковки с ИЛ-18 у мышей значительно выросли показатели клеточного иммунитета, увеличилась пролиферация клеток лимфоидных органов (селезенки и тимуса), также отражающая усиление иммунного ответа. Полученные эффекты стимуляции иммунитета оказались во многом сходны с действием рекомбинантного ИЛ-18 из других систем экспрессии.

Подопытные мыши прекрасно чувствуют себя и сейчас — спустя полгода после эксперимента. А трансгенную морковку нового поколения едят уже мыши с раковыми опухолями. Испытания переносятся в обстановку, близкую к «боевой»...

Но до практического использования еще очень далеко, и путь этот долог и дорог. Одного энтузиазма ученых и медиков здесь явно недостаточно — для продолжения работ требуются значительные материальные и финансовые вложения. Ведь фонтан идей, в отличие от неф-

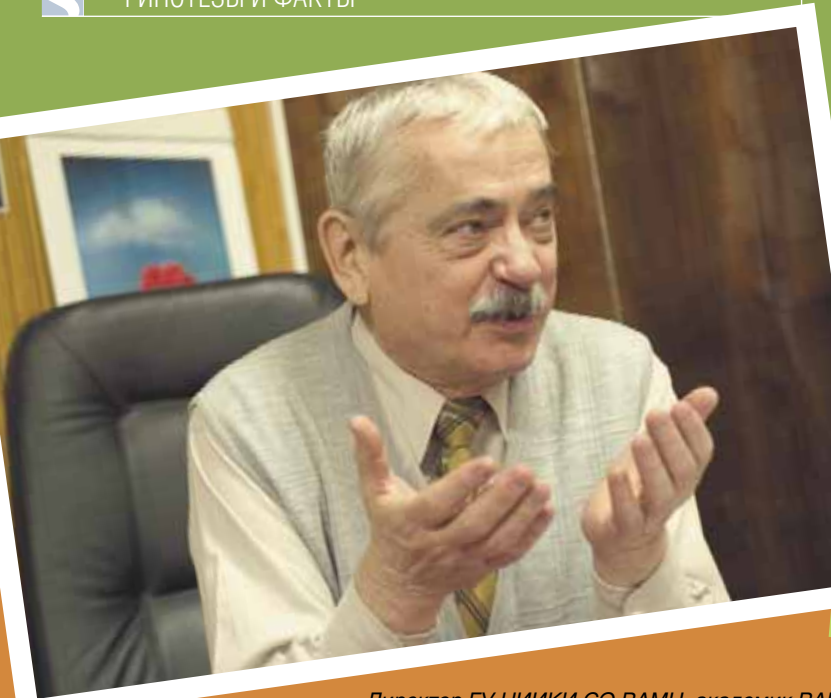


тяного, не приносит немедленной прибыли. И все же надеемся, что нашим исследователям не придется завидовать отцу-основателю генетики Менделю, которому, кроме таланта, терпения, трудолюбия и лопаты — этих неперенных инструментов истинных селекционеров, — требовался лишь простенький микроскоп...



Для дальнейшей селекции отбираются трансформанты только с одной вставкой чужеродного гена на геном. Из результатов автордиографии геномных ДНК трансгенных растений табака видно, что у растения под «несчастливым» номером 13 обнаружен двойной сигнал, указывающий на вставку двух копий фрагмента ДНК, кодирующего интерлейкин-18





Директор ГУ НИИКИ СО РАМН, академик РАМН Владимир Александрович Козлов: «Будущее медицины — это вакцины. И это сказано не ради рифмы. Сейчас вакцинация — «крестник» биотехнологии... <...> В последнее время во всем мире бурно развиваются клеточные технологии, с помощью которых мы сможем лечить основные заболевания современных людей»

(из доклада на научной сессии, посвященной 60-летию РАМН).

Один из будущих выпусков журнала будет посвящен проблемам современных клеточных технологий. В фокусе — СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ



Красота, ум и обаяние — это гармоничное сочетание не чуждо нашим «ученым дамам». Елена Владимировна Якушенко — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной иммунологии



Интеллектуальная и милая «барышня» Юлечка Лопатникова — младший научный сотрудник НИИ иммунологии — не падает в обморок при виде безобидного грызуна

Резвые мышки не по воле случая бодро хрустели трансгенной морковкой с интерлейкином-18 именно в лабораторном виварии новосибирского Института клинической иммунологии РАМН. Широкую известность институт получил благодаря открытию в 1995 году на его базе *Клиники иммунопатологии* — единственного специализированного учреждения на востоке страны, в котором внедряются новейшие научные разработки ученых-иммунологов. Еще через несколько лет при клинике были открыты *Центр трансплантации костного мозга*, а затем — *Центр цитокинотерапии*.

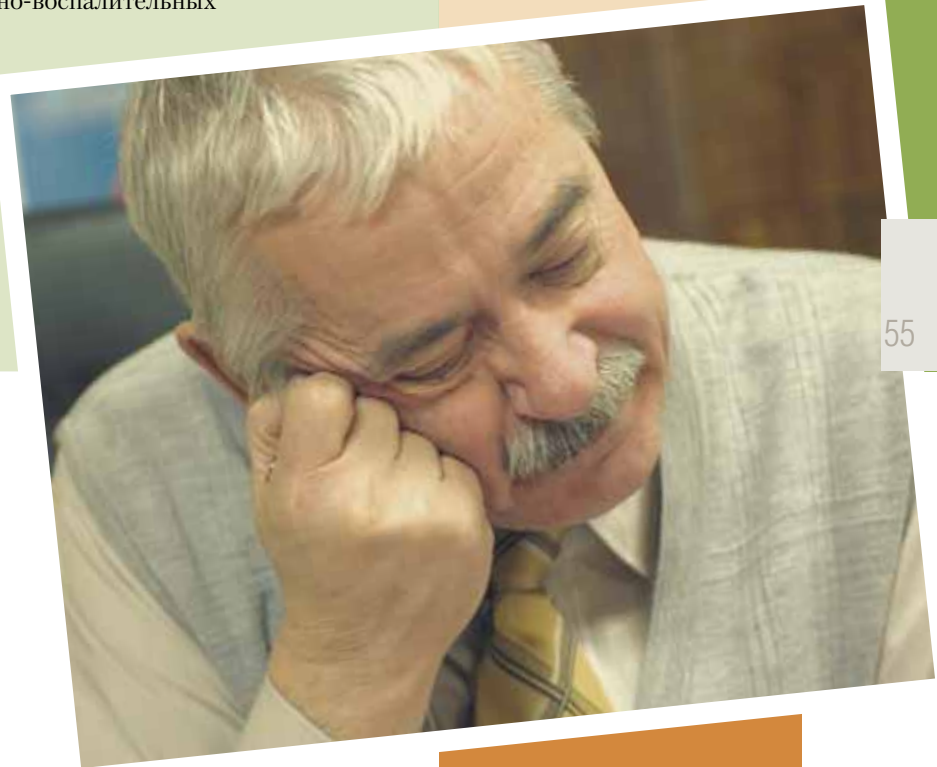
Разработка новых технологий лечения на основе природных и рекомбинантных *цитокинов* (к которым, в частности, относится интерлейкин-18) — одно из важнейших современных направлений в институте. Этот относительно новый класс лекарственных препаратов используется для коррекции иммунодефицитных состояний при инфекционно-воспалительных процессах, онкогематологических заболеваниях, при травматических повреждениях органов и тканей.

Прекрасно оборудованное новое здание клиники, квалифицированные специалисты, сотни благодарностей от пациентов — все это «налицо». Но новые технологии лечения не «падают с неба» — они появляются благодаря самоотверженному и кропотливому труду многих людей — ученых и врачей, кандидатов наук и лаборантов, профессоров и аспирантов. Эти люди — не политики, не эстрадные певцы, не герои телевизионного шоу — поэтому большинство из них обычно так и остается «за кадром». Нарушим эту традицию и встретимся с «неизвестными героями» лицом к лицу! Право слово, эти лица того стоят...

Материал подготовила Лариса ОВЧИННИКОВА



Сергей Витальевич Сенников, доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией молекулярной иммунологии пишет научно-популярную книжку о цитокинах «Язык клетки»

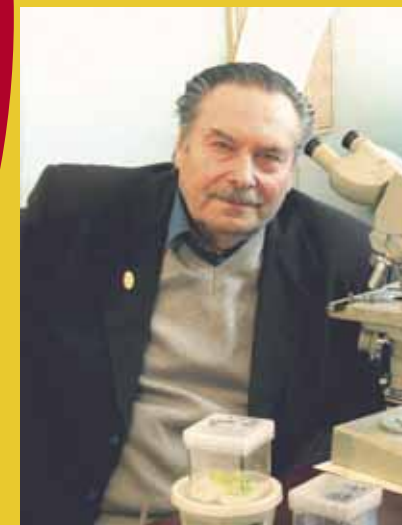


# Вакцины завтрашнего ДНЯ

*Пища необходима нам, как свет — растениям. Она дает нам энергию для умственных упражнений и физической активности, поставляет строительный материал мышцам, костям и нервам. Она может радовать наш вкус, осязание и обоняние, даже — наше чувство прекрасного. В XXI веке у пищи есть шанс обрести новые свойства: она сможет предохранять нас от болезней, перейдя из разряда «вкусной и питательной» в разряд «функциональной».*  
Знакомьтесь — съедобные вакцины!



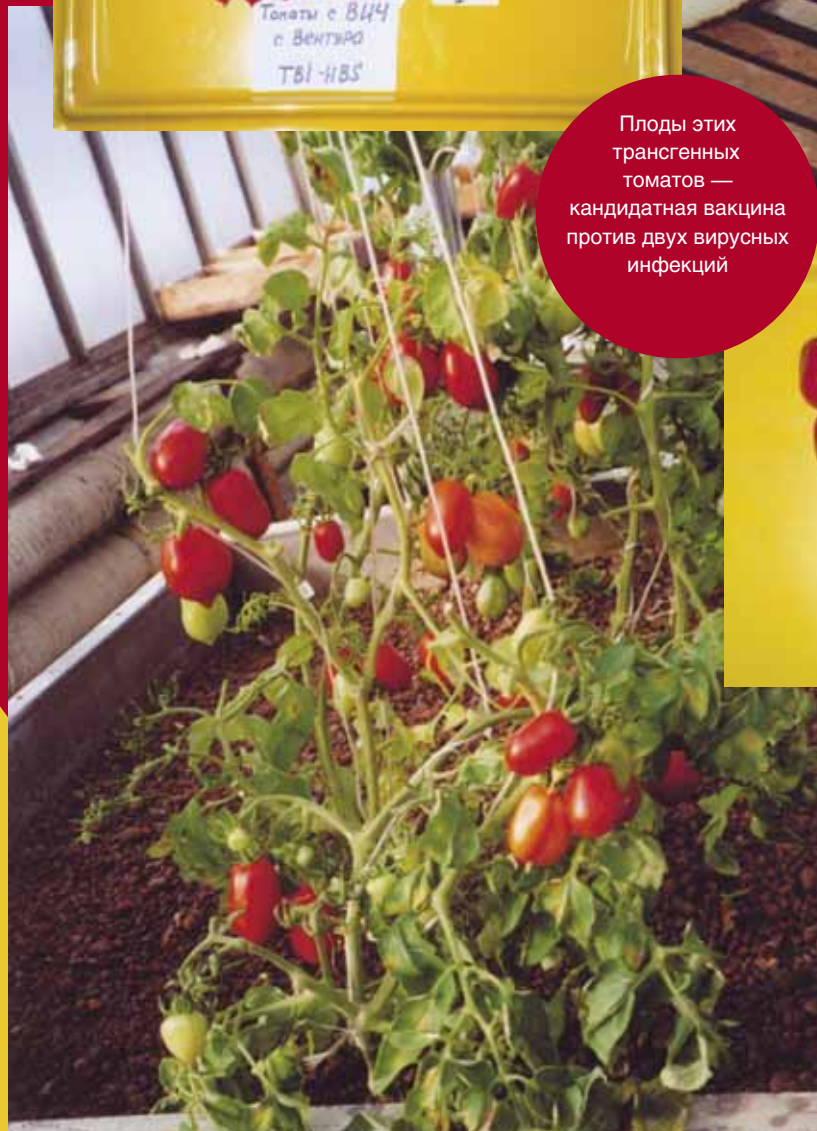
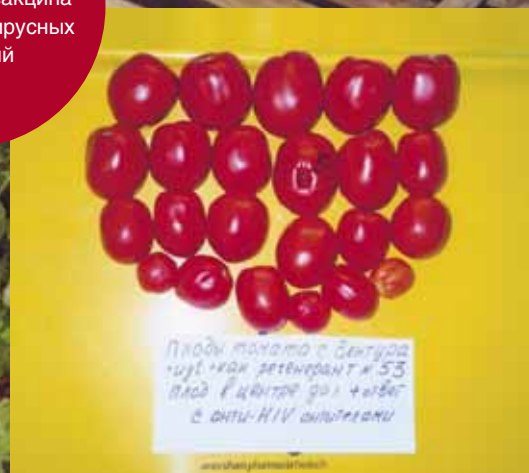
ЩЕЛКУНОВ Сергей Николаевич — доктор биологических наук, заведующий отделом молекулярной биологии геномов НИИ молекулярной биологии Государственного научного центра вирусологии и биотехнологии «Вектор» (г. Новосибирск), профессор Новосибирского государственного университета



САЛЯЕВ Рюрик Константинович — член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск), советник РАН, заведующий кафедрой физиологии растений и клеточной биологии Иркутского государственного университета



Плоды этих трансгенных томатов — кандидатная вакцина против двух вирусных инфекций



В мае 1796 года произошло событие «ценою» в миллионы спасенных человеческих жизней. Английский врач Эдуард Дженнер открыл способ предохранения от грозного заболевания — натуральной оспы — путем заражения легкой формой схожего заболевания, оспой коров. Эстафету Дженнера принял знаменитый французский ученый Луи Пастер — настоящий «микробный» Леонардо Да Винчи XIX века. С этого времени **вакцинация** (от лат. *vaccus* — корова) стала наиболее популярным, эффективным и доступным способом защиты населения от заболеваний, вызванных патогенными микроорганизмами, особенно — вирусами, фармацевтические препараты против которых практически отсутствуют.

Суть вакцинации заключается в том, что в организм вводятся убитые или ослабленные микробы, что обеспечивает развитие у человека **иммунитета**, т. е. невосприимчивости к болезни. Патогенные агенты «несут» на себе **антигены**, молекулы разной природы (белки, полисахариды и т. д.), которые распознаются организмом и вызывают защитный иммунный ответ. Первые вакцины получали методом проб и ошибок, но в наше время, благодаря развитию молекулярной биологии и генетической инженерии, открылись небывалые возможности для создания новых способов иммунизации и новых вакцин.

Среди них — ДНК-вакцины на основе генно-инженерных плазмид, микрокапсулированные и «леденцовые» вакцины с углеводом трегалозой, синтетические вакцины из искусственно синтезированных белков и полисахаридов... Требования к новым вакцинам едины: они должны быть безопасными, недорогими, простыми в использовании, длительно сохраняться и транспортироваться без использования холодильного оборудования. Все эти требования сполна удовлетворяют вакцины на основе генетически модифицированных растений со встроенными фрагментами ДНК патогенных микроорганизмов: их применение может стать революционным событием в профилактической медицине.

**Съел — и в порядке!**

В чем же состоит уникальность и привлекательность такого типа вакцин — съедобных? Во-первых, сам способ иммунизации — оральный, т. е. через рот — является простым, удобным и безопасным, так как снижает риск заражения другими микроорганизмами по сравнению с инъекциями или скарификацией, нарушающими кожные покровы. Во-вторых, съеденная вакцина попадает напрямую в желудочно-кишечный тракт, а конкретно — к его слизистым оболочкам.

Слизистые (иначе *мукозные*, от англ. *mucosal*) оболочки пищеварительного, дыхательного и мочеполового трактов являются обычными местами проникновения и колонизации для многих патогенных микроорганизмов. Защита этих оболочек обеспечивается иммунокомпетентными клетками, организованными в специальные лимфоидные ткани. Эта так называемая *мукозная иммунная система* является первым барьером на пути инфекций в отличие от исторически первой изученной *системной иммунной системы*, обеспечивающей защиту внутренних органов организма.

Стимуляция гуморального иммунитета в результате инъекционной вакцинации обычно эффективно предотвращает системные инфекции, но при этом не защищает слизистые оболочки. Мукозная же иммунизация чаще приводит к стимуляции как мукозного, так и системного иммунных ответов.

Однако проводить иммунизацию через слизистые оболочки непросто из-за ряда физиологических барьеров, препятствующих проникновению антигенов. Оболочка же растительных клеток обеспечивает антигену естественную защиту при прохождении через пищевод и желудок с кислым пищеварительным соком. Затем «упакованный» антиген благополучно достигает кишечника и соответственно, — мукозной иммунной системы.

Привлекательным свойством растительных вакцин является не только их потенциальная дешевизна, простота хранения и применения, но и огромный спектр самих пищевых прототипов — овощей, фруктов, злаков. Более того, можно создать растения, продуцирующие одновременно антигены разных инфекционных агентов, т. е. съедобные многокомпонентные вакцины! Не такой ли — почти «идеальной» — представлялась вакцина будущего основоположникам вакцинологии более 200 лет назад?

**Начинка для Сеньора Помидора**

Саму идею создания трансгенных растительных вакцин высказал в 1992 году американец Х. Мейсон. Через три года исследователи предприняли успешную попытку получения вакцины против гепатита В на основе трансгенного табака, в котором синтезировался поверхностный антиген (НВsAg) вируса. Рекомбинантный белок, выделенный из табака, при инъекции мышам вызывал у них такой же специфичный иммунный ответ, как и при использовании стандартной трансгенной вакцины из дрожжей. Затем был создан трансгенный картофель, продуцирующий НВsAg, а в 1999 году были начаты эксперименты на добровольцах, давшие положительный результат.

В последнее время одним из самых важных и пер-

спективных направлений в создании съедобных вакцин считается использование растений, которые могут широко использоваться в пищу без термообработки.

Ученые из Государственного научного центра вирусологии и биотехнологии «Вектор» (наукоград Кольцово, Новосибирская область) в сотрудничестве с сотрудниками Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН (г. Иркутск) и новосибирского Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН поставили перед собой задачу создать кандидатные съедобные вакци-

ны против вируса гепатита В человека и вируса иммунодефицита человека на основе трансгенных растений томата. Проект получил финансовую поддержку Министерства сельского хозяйства США (грант № 2176Р Международного научно-технического центра).

Вирусы иммунодефицита человека (ВИЧ) и гепатита В, к сожалению, хорошо известны и не нуждаются в «ре-

кламе». Отметим только, что в современном мире распространение этих инфекций приобретает характер эпидемии. По данным ВОЗ смертность от СПИДа достигает 2–3 млн, а от гепатита В — 1 млн человек в год! Поэтому неудивительно, что эти болезни привлекают к себе пристальное внимание биотехнологов во всем мире.

**Конструируем химеру**

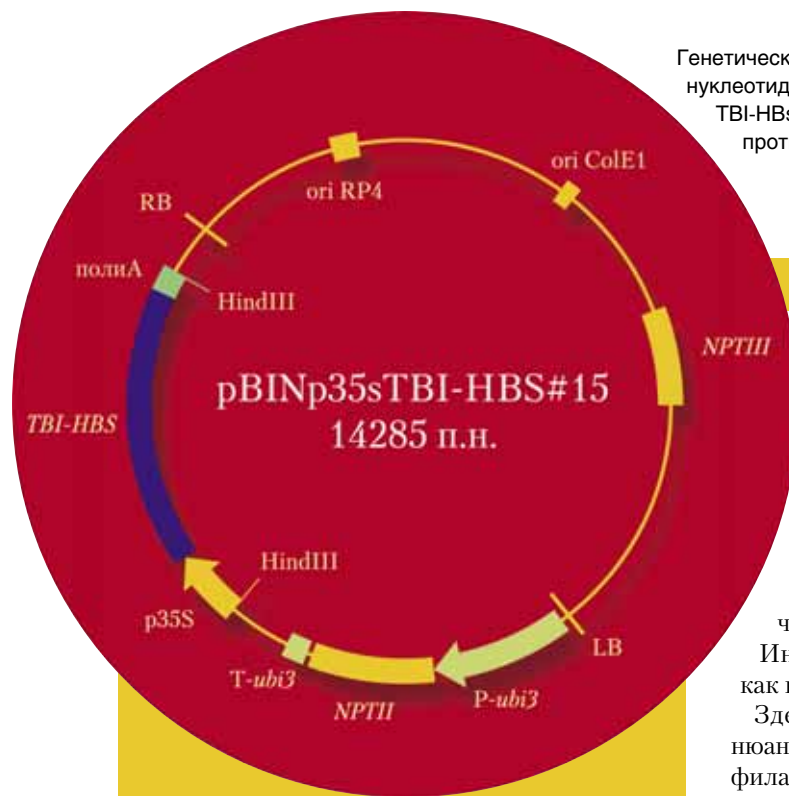
В создании генно-инженерных вакцин существует несколько подходов. При первом — в качестве встраиваемого фрагмента используется реальный ген инфекционного агента. Более нетрадиционным и многообещающим является конструирование генов, кодирующих искусственные белки, так называемые синтетические вакцины. Это — молекулы с заранее заданной третичной структурой и с оптимально подобранным составом *эпитопов*, т. е. «активных» центров инфекционного антигена, которые и запускают каскад иммунных реакций организма.

На основе этой методологии сотрудником ГНЦ ВБ «Вектор» А. М. Ерошкиным вместе с коллегами был рассчитан полиэпитопный белок-иммуноген против ВИЧ, названный *ТВИ* (T- and B-cellular immunogen). Затем для этого белка синтезировали кодирующую ДНК-последовательность и встроили ее в кишечную палочку *E. coli*. У животных, иммунизированных полученным рекомбинантным белком, был обнаружен как гуморальный, так и клеточный иммунный ответ против вируса иммунодефицита, что доказало правильность используемого подхода.

Исследователи пошли дальше по пути создания именно съедобных вакцин. Было решено встроить подобную генетическую конструкцию в растения томатов, в результате чего в них должен был синтезироваться «неприродный» белок. И не просто искусственный, но еще и химерный, поскольку к набору из девяти иммуногенных эпитопов белков ВИЧ-1 (ТВИ) был добавлен еще и поверхностный антиген вируса гепатита В (НВsAg). В результате ожидалось получить мультивалентную синтетическую вакцину одновременно против двух вирусных заболеваний. Генетические конструкции для переноса в растения были созданы сотрудниками «Вектора» и ИХБиФМ, а перенос их в растения томата и селективный отбор трансгенных растений осуществили сотрудники СИФИБРА.



Эта футуристическая конструкция — искусственный полиэпитопный белок-иммуноген против ВИЧ-1



Генетическая конструкция, содержащая нуклеотидную последовательность, кодирующую TBI-HBs — полиэпитопный белок-иммуноген против ВИЧ-инфекции и гепатита В

Цена «золотых яблок»

В листьях и плодах полученных трансгенных растений томата действительно были обнаружены антигенные детерминанты TBI и HBsAg, что, безусловно, подтверждало синтез в них целевого химерного белка TBI-HBsAg. Чтобы избежать возможной ошибки, определение белка иммуноферментными методами проводилось независимо в СИФИБРе и «Векторе». Но вот вопрос — оправдают ли эти аппетитные помидорчики свое итальянское имя — «золотые яблоки»? Иначе — будут ли трансгенные плоды «работать» как вакцина?

Здесь следует обратить внимание на следующий нюанс. Вакцина — не лекарство, она является лишь профилактическим средством. Как проверить ее эффективность, особенно в случае тяжелейших, более того — смертельных заболеваний? В этом случае нам, пожалуй, не стоит следовать не слишком гуманному примеру гениального Дженнера, проверившего свое открытие на восьмилетнем ребенке. Нельзя ведь, в самом деле, накормив добровольцев (если таковые и нашлись бы) помидорами, затем заражать их ВИЧ-инфекцией и смотреть на результат?

Поэтому в «бой», как всегда, вступили лабораторные мыши. Правда, СПИДом, как, впрочем, и гепатитом, мыши не болеют, однако их иммунная система должна была отреагировать на интервенцию антигенного белка. Помидоры мыши тоже недолюбливают, поэтому массу из измельченных плодов сотрудники «Вектора» через катетер вводили животным прямо в пищевод. Для оценки же мышинового иммунитета использовался стандартный иммуноферментный анализ (ИФА) на наличие антител к вирусам гепатита В и ВИЧ-1.

Эксперимент, в котором мышей кормили помидорами три раза с интервалом в 2 недели, закончился совсем недавно — в сентябре этого года. И его можно однозначно назвать успешным: уже после второго кормления в крови иммунизированных животных значительно увеличился уровень антител против вируса гепатита В. Более того, мукозный иммунный ответ, судя по результатам анализа мышинных фекалий, начался еще раньше — уже после первого кормления — и сохранялся до конца эксперимента. В отношении ВИЧ картина была схожей и, хотя уровни выявленных антител были не столь высоки, они достоверно отличались от анало-



Из более чем 2000 генетически трансформированных проростков томата было отобрано около двух десятков растений, у которых полимеразная цепная реакция (ПЦР) показала присутствие в их тканях гена TBI-HBs.

1–9 — ДНК из плодов индивидуальных трансгенных растений; К — ДНК из плода контрольного растения; A.t. — ДНК гена, клонируемого в плазмиде почвенной бактерии *Agrobacterium tumefaciens*

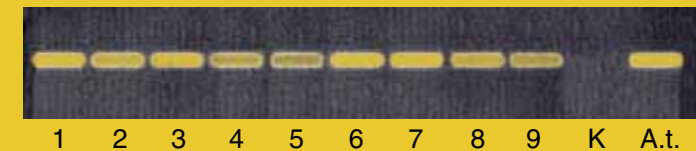
В листьях и плодах трансгенных томатов поколения T1 обнаружен конечный продукт экспрессии гена — химерный белок TBI-HBsAg. По уровню продукции белка наблюдалось клоновое разнообразие, что обусловлено положением трансгена в геноме растения. 1–15 — плоды индивидуальных трансгенных растений; К — плод контрольного растения

гичных анализов у контрольных животных, сидевших на «диете» из обычных нетрансгенных томатов.

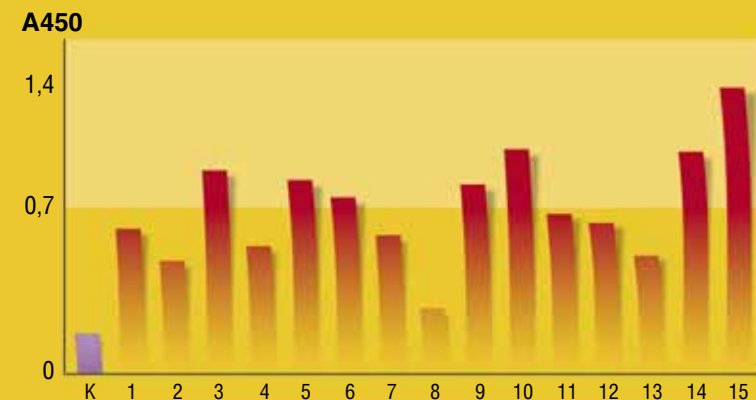
Таким образом, можно сказать, что кандидатная съедобная вакцина одновременно против двух вирусных инфекций — гепатита В и ВИЧ-инфекции (СПИДа) — в принципе получена. В этой фразе отметим два слова — *в принципе* и *кандидатная*, которые, как макушка айсберга, обозначают проблему.

Вообще-то, планов у участников проекта много: кроме томатов, хотелось бы использовать и другие привлекательные носители трансгенов, например, морковь, сладкий перец, злаки, объединяя свои усилия с учеными из других городов и институтов. А еще можно попробовать увеличить продуктивность растений-вакцин, трансформируя не только их ядерный геном, но и генетический материал многочисленных хлоропластов, в которых происходит фотосинтез. Судя по нашим предварительным результатам, перспективным может оказаться «комбинированный» путь, т. е. сочетание съедобной вакцины с инъекцией плазмидных ДНК-вакцин. Эффективность полученной вакцины оценивалась косвенным путем, — почему бы не перейти к прямым клиническим испытаниям — например, на приматах? Но в Сибири бананы не растут, а уж сколько стоят здесь обезьяны...

И так во всем, — когда речь заходит о каких-то масштабных проверках, доклинических и прочих, о выведении устойчивых трансгенных линий растений, на передний план выходит сакраментальный для нашей страны призыв: «Ищите деньги!». Пока будущее — в тумане. А для продолжения работ требуется не менее 200 тысяч долларов в год. Интересно было бы знать — покрывает ли такая сумма хотя бы суточные траты Центра исследования СПИДа, что под Вашингтоном?



742 пн

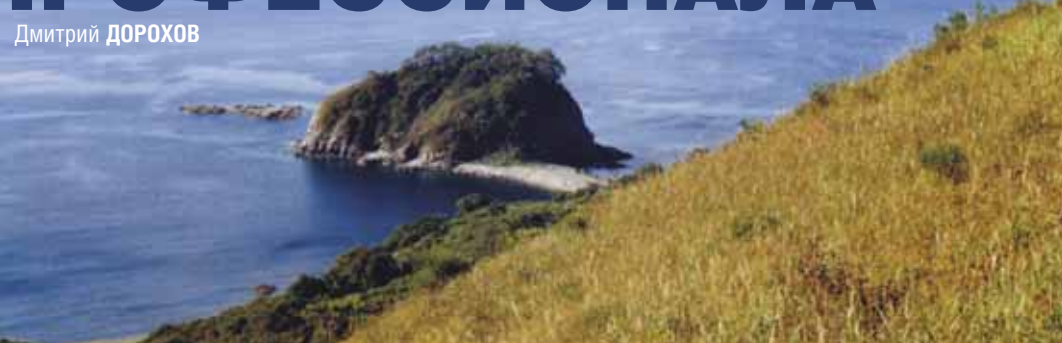


Эти крохотные стерильные проростки томатов подверглись генетической трансформации уколом иглы, содержащей агробактерию с гибридной плазмидой



# БИОБЕЗОПАСНОСТЬ: ВЗГЛЯД ПРОФЕССИОНАЛА

Дмитрий ДОРОХОВ



*Биобезопасность* — отсутствие фактического или прогнозируемого нежелательного воздействия модифицированного организма (в сравнении с исходным немодифицированным организмом) на окружающую среду. (Постановление Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2001 г. № 120 «О государственной регистрации генно-инженерно-модифицированных организмов»)



«Охотники» за дикой соей в окрестностях озера Ханка



ДОРОХОВ Дмитрий Борисович — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией генома растений Центра «Биоинженерия» РАН (г. Москва). Эксперт комиссии ООН по стандартизации сельскохозяйственной продукции. Состоял членом рабочей группы Межведомственной комиссии по проблемам генно-инженерной деятельности, ответственным секретарем Экспертного совета Минпромнауки России по вопросам биобезопасности. Принимал участие в разработке методических рекомендаций по оценке биобезопасности генно-инженерно-модифицированных растений, регламента регистрации и инспекции опытных участков контролируемого выпуска ГМР и концепции пост-регистрационного мониторинга ГМО в России



Закат в заливе Петра Великого

*Безопасность... Это слово для нас много значит — в рейтинге человеческих ценностей ощущение безопасности занимает одну из верхних строчек. Мы беспокоимся о своей жизни и здоровье детей, тревожимся о безопасности дорог и воздушных рейсов, о сохранности своих квартир и кошельков. Новое время, рождая новые технологии, породило новые страхи и новые понятия. После расщепления атомного ядра человечество проникло вглубь живой клетки, взломав наследственные «коды». Биобезопасность — новая категория отношений между Человеком и Природой.*

Почти ежедневно мы слышим об очередных достижениях биотехнологии, которые могут существенно улучшить нашу жизнь. Но почему проходит так много времени, пока они воплотятся в реальность? Отчего так долгий путь от пробы до поля, и, в конечном итоге, — до прилавка в супермаркете?

Это необходимо, чтобы убедиться, что новый продукт не представляет угрозы для здоровья человека и для окружающей среды. Окончательное решение о безопасности и использовании продукта принимает на себя государство: процесс принятия решения регулируется соответствующим национальным законодательством и международными актами.

Говоря о продуктах современной биотехнологии в сельском хозяйстве, как правило, имеют в виду генетически модифицированные организмы (ГМО), как таковые, продукты их жизнедеятельности или продукты их переработки. Термин *биобезопасность* применяют в отношении живых ГМ-организмов, взаимодействующих с окружающей средой; термин же *пищевая безопасность* или *безопасность кормов для животных* — к продуктам их переработки.

Прежде всего, нужно отметить, что в основе системы биобезопасности в Российской Федерации лежат принципы, разработанные мировым сообществом: 1) научная оценка риска использования ГМО и 2) независимость научной экспертизы применительно к каждому случаю выпуска ГМО в





Пространственное распределение полевых участков для проведения испытаний ГМР на биобезопасность в РФ



Посевы культурной сои, «захваченные» сорняками



Посевы генетически модифицированной сои, устойчивой к гербициду глифосату

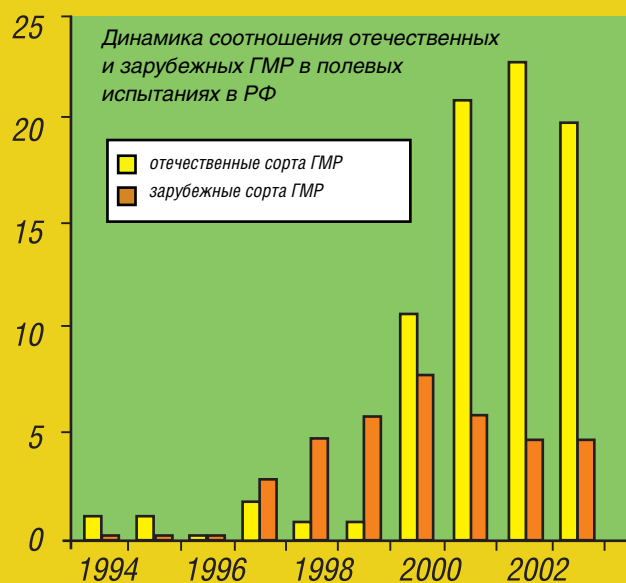
окружающую среду. На этой основе российским научным сообществом в 2001 году были разработаны «Методические рекомендации по оценке биобезопасности генно-инженерно-модифицированных растений». Они были приняты Экспертным советом Минпромнауки России по вопросам биобезопасности и одобрены Межведомственной комиссией по проблемам генно-инженерной деятельности (МВКГИД).

Важнейший этап проведения испытаний на биобезопасность ГМ-растений — полевые испытания. В РФ подобные испытания разрешено проводить только на специализированных охраняемых участках, которые, как правило, находятся на территориях специализированных научно-исследовательских институтов и расположены в различных агроклиматических зонах. Экспертами МВКГИД разработан «Регламент регистрации и инспекции опытных участков для проведения контролируемого выпуска ГМР». Проведение испытаний ГМ-растений под таким контролем гарантирует от их несанкционированного распространения за пределы сельхозугодий.

Чтобы лучше представить себе, как идентифицируют риски, связанные с выпуском генетически модифицированных растений в окружающую среду, в качестве наглядного примера приведем реальные исследования на биобезопасность генетически модифицированной сои, в которых автору довелось участвовать.

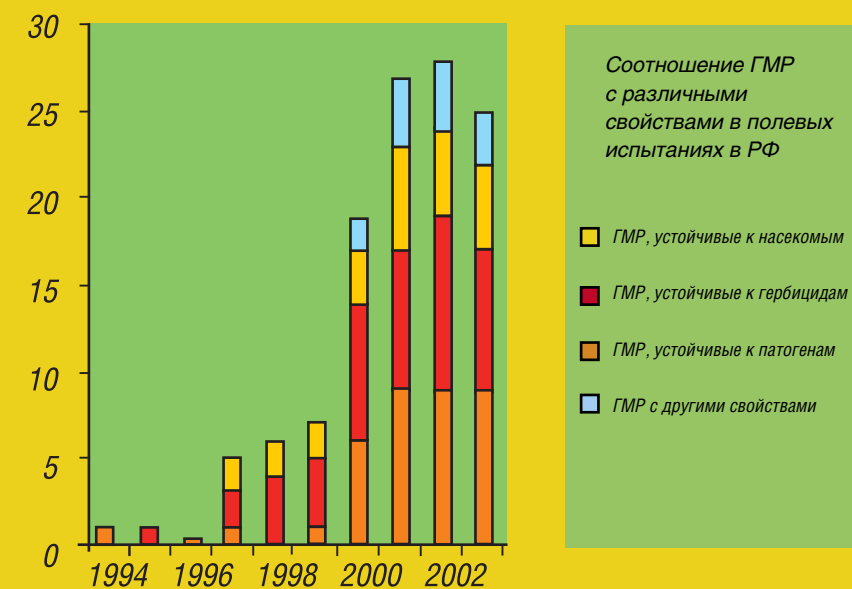
«К ГМ-продуктам предъявляют требования гораздо более высокие, чем к сортам, полученным в результате обычной селекции и даже селекции, в которой мутации вызваны облучением или применением химикатов»

Н. Борлоуг\*



«...общество должно отчетливо сознавать, что в природе не бывает “нулевого биологического риска”, представление о котором — <...> уловка, цель которой — воспрепятствовать развитию этого направления науки и техники»

Н. Борлоуг\*





**СОЯ — «КОРОЛЕВА ПОЛЕЙ»**

Итак, объект нашего исследования — генетически модифицированная соя под длинным названием GTS 40-3-2 (Stine 2254 RR — Monsanto Company), устойчивая к гербициду глифосату. Такая соя получилась в результате вставки в растительный геном гена, кодирующего фермент синтетазу (EPSPS) почвенной бактерии *Agrobacterium tumefaciens*.

Генетически модифицированная соя, устойчивая к глифосату, оказалась одним из самых востребованных трансгенных растений. Использование ее на засоренных сорняками полях не только дает прибавку урожайности (до 40 %!), но и уменьшает количество вносимого гербицида, снижает затраты на культивирование почвы, потери воды. Эти особенности ее агротехники обеспечивают производителям большую прибыль и, несомненно, имеют природоохранный характер. В прошлом году устойчивая к гербицидам соя по-прежнему оставалась доминирующей среди трансгенных сельскохозяйственных культур в восьми странах мира: США, Аргентине, Бразилии, Канаде, Мексике, Румынии, Уругвае и Южной Африке.

Общая концепция испытаний на биобезопасность ГМ растений предполагает уделять особое внимание исследованию генетической структуры популяций дикорастущих предков трансгенных растений в центрах их видообразования, а так же их способности скрещиваться с дикорастущими сородичами. В нашем случае это предполагает изучение дикорастущей сои на территории Российской Федерации, что и было выполнено коллективом ученых из ряда исследовательских учреждений: Центра «Биоинженерия» РАН



**А**



**В**

Пространственное распределение в Российской Федерации площадей, занятых культурной соей (А) и районов произрастания дикой сои (В)

(г. Москва), Института цитологии и генетики СО РАН (ИЦиГ, г. Новосибирск), Тихоокеанского института биоорганической химии (ИБХ) ДВО РАН (г. Владивосток), Института сои ДВО РАСХН (г. Благовещенск), Государственного педагогического института (ГПИ) (г. Новосибирск).

Дальний Восток — один из основных районов в нашей стране, где возделывается культурная соя (*Glycine max*). В то же время в этом регионе можно встретить и дикорастущую сою (*Glycine soja*). Что произойдет, если на поля Дальневосточного региона выпустить устойчивую к гербициду трансгенную сою, — каковы потенциальные риски «утечки» этого признака в природную популяцию?

Чтобы ответить на этот вопрос, ученым нужно было понять: является ли дикорастущая соя сорняком и сможет ли она стать им в будущем, если получит признак устойчивости к гербициду? Для этого необходимо было провести геоботанические описания и оценить генетическую структуру популяции дикой сои. Для более точного прогноза требовалось оценить и возможности



Растения дикорастущей сои (*Glycine soja* Sieb.&Zucc.) в посевах культурной сои (*Glycine max* (L.) Merr.)

естественного переопыления между дикорастущим и культурным видами, для чего нужны специальные эксперименты по межвидовому скрещиванию с точной идентификацией полученных межвидовых гибридов. И вот теперь, когда задача поставлена, — самое время отправиться в «поля», на поиски дикой сои...





Заросли дикорастущей сои

«Страх <...> в общественном мнении по отношению к продуктам биотехнологии в значительной мере обусловлен неспособностью наших учебных заведений привить учащимся хотя бы элементарные знания по сельскому хозяйству»

Н. Борлоуг\*

ЗА ДИКОЙ СОЕЙ

Дикорастущая уссурийская соя считается родоначальницей или, по крайней мере, ближайшей родственницей культурной сои. В пределах России она встречается только на юге Дальнего Востока — генетического центра происхождения вида. Точечный ареал ее распространения охватывает юго-восточную часть Амурской области, юг Хабаровского края и почти весь Приморский край. Наибольшее количество находок дикой сои отмечено вблизи озера Ханка, в районах, пограничных с Китаем.

Площади возделывания культурной сои на российском Дальнем Востоке находятся в пределах естественного распространения ее дикорастущего сородича. Поскольку оба вида являются типичными самоопылителями, появление межвидовых гибридов в естественных условиях крайне маловероятно, так как даже свободное переопыление между растениями культурной сои обычно составляет менее одного процента.

Центром «Биоинженерия» и ИЦиГ при участии сотрудников Тихоокеанского ИБХ и Института сои в течение трех лет (1998–2000 г. г.) были организованы и проведены экспедиции по сбору образцов дикорастущего вида сои в ареале его произрастания — Амурской области и Приморском крае. За это время ис-

следователями были описаны растительные сообщества и собраны семена сои более чем из 200 точек. Образцы семян были переданы в национальный генетический банк Всероссийского института растениеводства имени Н. И. Вавилова для дальнейшего изучения.

Что же удалось выяснить? Судя по результатам геоботанических исследований, дикорастущая соя ведет себя как *антропофильный рудеральный сорняк*, что на обычном языке означает, что она произрастает близ жи-



Остров Фуругельма в Японском море

Бухта Троицы

ля, на свободных местах и т.п., но отнюдь не в полях. На сельскохозяйственных — особенно пропашных культур — дикорастущая соя встречается редко. Этому способствуют и ее биологические особенности — длительный вегетативный период, малая семенная продуктивность, отсутствие приспособлений для дальнего рассеивания семян и т. п.

Анализ 280 растений дикой сои из разных географических районов распространения вида показал поддержание стабильного числа хромосом в пределах естественных группировок. Для всех образцов двойной набор хромосом составил  $2n=40$ , что типично для дикорастущего вида сои, причем никаких отклонений среди экспедиционного материала не было обнаружено. Молекулярный анализ образцов показал, что уровень *полиморфизма* (изменчивости) у растений дикорастущей сои значительно выше, чем у культурной.



Наибольшее генетическое удаление от основной популяции дикой сои демонстрировали отдельные группировки, оказавшиеся в условиях географической изоляции. При этом, если некоторые образцы с полуострова Гамова (Приморский край) показали высокую генетическую вариабельность, то популяция Амурской области, наоборот, оказалась генетически однородной. Ранее японским и китайским ученым удалось выявить связь между особенностями генома и географическим распространением популяций дикой сои, что помогло им обнаружить гипотетический центр происхождения и «приручения» стародавних китайских сортов сои. Предполагается, что этот район находится в одной из провинций Китая — в долине реки Янцзы. Возможно, что относительная генетическая монотонность дальневосточной популяции дикорастущей сои является результатом ее географической удаленности от центра происхождения вида.

**ПРОВЕРЕНО. ГИБРИДОВ — НЕТ**

Эксперименты по скрещиванию между двумя видами сои проводились как в условиях свободного переопыления на экспериментальных участках Всероссийского НИИ биологической защиты растений РАСХН (г. Краснодар), так и искусственного переопыления в условиях теплицы (ИЦиГ СО РАН, г. Новосибирск).

В случае, когда донором пыльцы выступала генетически модифицированная культурная соя, в естественных условиях межвидовых гибридов с дикорастущей соей получить не удалось. При искусственном переопылении дикорастущего (материнские растения) и культурного (отцовские растения) видов сои было проведено 54 комбинации скрещиваний. Однако в результате этого эксперимента было получено всего два (!) семени, да и то одно из них оказалось нежизнеспособным.

Гибридная природа единственного полученного растения была подтверждена молекулярным анализом. Параллельно (с использованием ПЦР технологии) был проведен анализ на наличие в гибридном растительном геноме генетической конструкции, обуславливающей устойчивость к гербициду у трансгенных растений культурной сои. В результате эта генетическая конструкция действительно была обнаружена в первом гибридном растении (поколение  $F_1$ ) но отсутствовала у его потомков (растения  $F_2$  и  $F_3$ ). По всей вероятности, в отсутствие давления искусственного отбора трансгенная вставка достаточно быстро *элиминируется*, т. е. исчезает из генома. Аналогичное явление ранее было отмечено для межвидовых гибридов генетически модифицированного масличного рапса и его родича — дикого редиса.

Таким образом, можно однозначно заключить, что при переопылении дикой сои пыльцой трансгенных растений эффективность гибридизации крайне низка, при этом генетическая конструкция, обуславливающая устойчивость к гербициду, в естественных условиях достаточно быстро «пропадает». Однако исследования по биобезопасности трансгенной сои на этом не закончились. На Дальнем Востоке продолжают работы по изучению естественной потенциальной способности к гибридизации у культурного и дикорастущего видов.

Сотрудники Центра «Биоинженерия» и Дальневосточного научно-исследовательского института защиты растений РАСХН уже в течение двух полевых сезонов проводят детальное обследование популяций дикорастущей сои на территориях, прилегающих к озеру Ханка, а также вдоль границ сельскохозяйственных посадок культурной сои. Особое внимание уделяется популяциям, произрастающим около полей, на которых севооборот культурной сои не проводился в течение



Е. В. Дейнеко с коллегами на острове Большой Пелис (Японское море)



Ex herb. horti bot. Petropolitani.

Mammoneia. Des. secundum



Бухта Лашкевича (Японское море)

нескольких лет. Однако на основании морфологических признаков ученым пока не удалось обнаружить межвидовые гибриды, что свидетельствует о стабильности дикой популяций сои рядом с агропопуляциями.

Конечно, проделанная работа — только часть проверок на биобезопасность, которые проходит трансгенный организм для получения официальной регистрации. Однако она приблизилась день, когда трансгенная соя сможет на «законных» основаниях выйти на наши поля, а российские производители на деле познакомятся с преимуществами, которые сулят современные биотехнологии.

«Ныне я убежден: уже сегодня человечество располагает технологиями, <...> способными надежно прокормить 10 млрд человек. Вопрос лишь в том, получают ли производители продовольствия во всем мире доступ к этим технологиям»

\*Норман Э. Борлоуг, нобелевский лауреат, отец «зеленой революции».

Ссылка по «Экология и жизнь», № 4, 2001

В статье использованы фотографии автора

*Литература*

D. Dorokhov, A. Ignatov, E. Deineko, A. Serjapin, A. Ala, K. Skryabin. The chance for gene flow from herbicide-resistant GM soybean to wild soy in its natural inhabitation at Russian Far East region. In: Introgression from Genetically Modified Plants into Wild Relatives, Edited H.C.M. den Nijs et al., CABI Publishing 2004, pp. 151-161.

Дымина Г. Д., Горовой П. Г., Дейнеко Е. В., Дорохов Д. Б., Ала А. Я., Шумный В. К., Скрябин К. Г. Изучение географического распространения, особенностей экологии и генетического разнообразия популяции дикой сои (*Glycine soja* Siebold et Zucc.) на юге российского Дальнего Востока, как элемент исследований по биобезопасности генетически модифицированной сои устойчивой к глифосату. Современные методы борьбы с сорняками с использованием новых классов гербицидов и трансгенных растений, устойчивых к гербицидам. Серия «Генетическая инженерия и экология». — М.: Центр «Биоинженерия» РАН, 2001. — Т. 2. — С. 170.



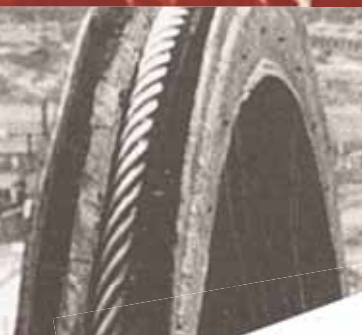
# «Русский след»

## В ОТКРЫТИИ СТРУКТУРЫ ДНК



Ленинградская школа генетики. Старый Петергоф, 1925—1927 г.

Владимир ШУМНЫЙ,  
Лариса ОВЧИННИКОВА



От Менделя ...

Некоторые занятия каноника Грегора из старинного августинского монастыря святого Томаша могли, без сомнения, показаться странными не только почтенным обывателям Брюнна, но и весьма образованной монастырской братии. Одно дело — разводить цветы, прививать груши, выращивать ананасы и изучать вредителей растений в прекрасном монастырском саду и оранжерее. Но почти 10 лет корпеть над грядками обычного гороха на крохотном, в две с половиной сотки, участке! Сортировать, а потом зачем-то подсчитывать выращенные горошины, коим прямой путь — на монастырскую кухню, над которой брат Грегор шефствует?

Что же побудило любознательного крестьянского сына Иоганна Менделя, вынужденного надеть рясу священника, на дерзновенную для того времени попытку — проверить «гармонию природы алгеброй»? Изучение математики и физики в Венском университете, знакомство с теорией вероятности Блеза Паскаля? Многолетнее преподавание физики и естественной истории в брюннской реальной школе? Известно только одно: к результатам своих образцово спланированных опытов он — практически впервые в биологии! — применил методы строго математического анализа, получив от коллег по научному обществу несколько ироничное прозвище «ботанический математик».



Грегор Мендель —  
родоначальник генетики



Изучив передачу наследственных признаков у десяти тысяч (!) растений гороха, священник Мендель в конце XIX века пришел к мысли, что за каждым признаком организма стоит вполне «материальное» начало (названное впоследствии *геном*), и сформулировал основные положения теории наследственности. Однако сам прилежный «испытатель природы» не мог даже предположить, что из нескольких килограммов его гороховых семян суждено будет вырасти пышному дереву новой науки, ставшей сердцем современной биологии.

Дальнейшее развитие *генетики* (от лат. *geneo* — «порождаю»; так была названа новая наука в 1906 г.) состояло, по большому счету, в проверке приложимости «менделевских» законов к различным видам организмов. А изучение исключений из этих правил только способствовало расширению и дополнению знаний о наследственности.

Увы, слава не нашла родоначальника генетики при жизни. Начало двадцатого столетия ознаменовалось переоткрытием установленных им законов сразу тремя независимыми учеными. Это случилось в 1900 году — через 16 лет после смерти Грегора Иоганна Менделя, для своих современников — видного гражданина, почитаемого настоятеля монастыря, любимого учителя. Имевшего достаточно обычное для образованного человека того времени «ботаническое» хобби...



Н. И. Вавилов. 6 августа 1940 года был арестован и приговорен к расстрелу, который был заменен 20-летним заключением. Через 3 года умер в тюрьме



Ленинградский биологический институт, 1925 г. В первом ряду (слева направо): Н. И. Вавилов, В. А. Догель, Ю. А. Филипченко. Во втором: Г. Федерлей, О. Фогт, У. Бэтсон

### Из очерка У. Бэтсона. Наука в России

Уильям Бэтсон — выдающийся английский генетик. Именно он в 1906 году дал имя науке о наследственности и изменчивости, назвав ее «генетика». В 1925 году незадолго до своей смерти он приезжал в Советский Союз на торжества по случаю 200-летия Академии наук, оставив яркое описание своих впечатлений о науке в Советской России.

<...> Куда бы ни шли, у нас было чувство — новое и достаточно необычное для ученых, чувство того, что мы выделяемся своей хорошей одеждой. Действительно, было немного неудобно встречаться с людьми, образованными и утонченными, чьи брюки были в заплатках — больших и из неподходящего материала.

Одно положение звучало очень ясно, а именно, что революционное правительство совершенно искренне стремится в больших масштабах поддерживать и поощрять науку. Не было недостатка в свидетельствах того, что наука, особенно в ее прикладных приложениях, рассматривается нынешним правительством России как лучший из всех видов пропаганды. Было интересно слышать обещания, что успешное развитие науки является первой задачей государства, о чем объявляли профессиональные политики.

Мы увидели много новых учреждений <...>. Дворцы и огромные здания, из которых их владельцы были выселены, были спешно приспособлены для целей науки. <...> Мы увидели лабораторные стеллажи, наскоро смастеренные среди остатков мебели и скульптур в стиле ампира и под потолками, выполненными Буше, с изображениями нимф, резвящихся с амурами.

Сомнения могут возникать относительно того, была ли создана наилучшая атмосфера для научной деятельности в этих учреждениях, но нельзя переоценить усердие и энергичность, с которыми ведется работа в новых обстоятельствах.



До Долли

Первые два десятилетия (отсчитывая с момента своего второго рождения) юная генетика искала себя — вернее, то место в организме, где могли бы поместиться абстрактно уже существующие, но пока еще «бестелесные» гены. На роль «держателей» генов были выдвинуты хромосомы — к этому времени неплохо изученные внутриклеточные структуры непонятного назначения. Их поведение в процессе образования половых клеток и оплодотворения делало понятным менделевское расщепление признаков в потомстве. Представление о хромосоме, как о нитке бус, в роли которых выступали искомые гены, хорошо объясняло и обнаруженное к тому времени явление сцепления признаков при передаче потомкам.

Таким образом, к началу 1920-х годов сформировалась *хромосомная теория наследственности*, а гены обрели постоянный адрес в клетке. На повестку дня встал новый вопрос: какова химическая природа и структура самих хромосом? История поиска ответов на него напоминает хорошо закрученный детектив: уже возмужавшая генетика более тридцати лет с похвальным упорством подбиралась к истине.

Сначала в качестве подозреваемого выступил белок. Подозрение это не оправдалось, однако сама идея построения хромосом, как огромных молекул, в которых зашифрован принцип устройства всего организма, была пророческой. Затем «под колпаком» оказались нуклеиновые кислоты — функционально «непристроенные»

к тому времени высокомолекулярные соединения, состоящие из остатков фосфорной кислоты, сахаров и азотистых оснований. И это было попадание в «яблочко»!

Кульминация поисков наступила в середине XX столетия, когда расшифровали пространственную структуру ДНК, как основного носителя наследственной информации. Это событие не только открыло шлюзы для настоящего потока открытий, но и ознаменовало рождение новых научных дисциплин — молекулярной биологии и генной инженерии.

Менделевские закономерности были сформулированы чуть менее 140 лет назад — много это или мало? Один примечательный факт: в 1865 году, когда Мендель впервые обнародовал свои выводы о природе наследственности, родился японец Сигекъё Исуми, упомянутый в Книге рекордов Гиннеса. Он умер в возрасте 121 года в 1986 году — ровно через год после открытия метода *полимеразной цепной реакции*,

позволяющего размножить ничтожные количества ДНК для биохимического анализа и ныне широко использующегося в медицине, этнографии и криминалистике. Исуми не дожил всего 11 лет до клонирования овечки Долли и лишь 17 — до полной расшифровки генома человека!

Таким образом, за срок, сравнимый с одной, пусть и долгой, человеческой жизнью, генетика прошла фантастический путь от абстрактных представлений о «зародышевой плазме» до почти божественного акта создания и трансформации живых организмов. А в чешском городе Брно (бывшем Брюнне) 2 года назад было принято решение для увековечивания имени Менделя создать в аббатстве, где ученый провел почти всю свою жизнь, мемориальный комплекс — благо промелькнувшая сотня лет почти не оставила следов на крепкой каменной кладке монастыря...

## Голубая кровь

Открытие двойной спирали ДНК (50-летний юбилей его отмечался в 2003 году) стало действительно знаковым событием XX века, известность которого вышла за рамки научного сообщества. Имена Д. Уотсона и Ф. Крика, наравне с именем Менделя, знают школьные отличники и студенты-двоечники. Гораздо реже вспоминают еще двух человек, разделивших с ними честь открытия: рентгенографов М. Уилкинса и Р. Франклин. В 1962 году Уотсон, Крик и Уилкинс получили Нобелевскую премию по медицине. Р. Франклин умерла четырьмя годами раньше, иначе премию впервые пришлось бы присуждать сразу четверым.

Сколько существует на свете почетных званий и ученых наград, но Нобелевская премия... Есть в ней что-то такое, от чего замирает сердце не только юного аспиранта, но и маститого профессора, и словосочетание *нобелевский лауреат* звучит почти как *принц крови*. И дело не в самой сумме — что значит какой-то жалкий миллион долларов по сравнению с гонорарами голливудских звезд, рок-певцов или мастеров теннисной ракетки! К сожалению, со времен средневековья вознаграждение труда ученых, в отличие от трубадуров

и менестрелей, не претерпела особых изменений. Тем не менее, именно «Нобелевка» считается универсальным, поистине «золотым» эквивалентом, которым благодарное человечество отмечает выдающиеся достижения лучших представителей своей интеллектуальной и духовной элиты.

Триумфальный путь генетики к открытию тайны носителей наследственности усеян Нобелевскими премиями, как грудь ветерана войны в майский день — медалями. Но, увы — нам не найти в этом перечне фамилий соотечественников. Бесспорно, нет явления более космополитичного, чем наука, и у научного открытия нет национальности, но все же... Мы не будем вопрошать сейчас — кто виноват? Просто вспомним поименно тех, кто мог бы с достоинством носить это гордое звание — нобелевский лауреат.

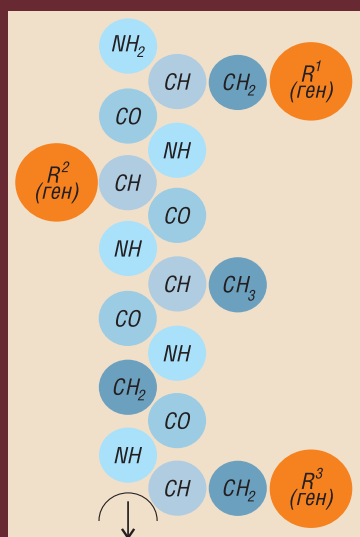
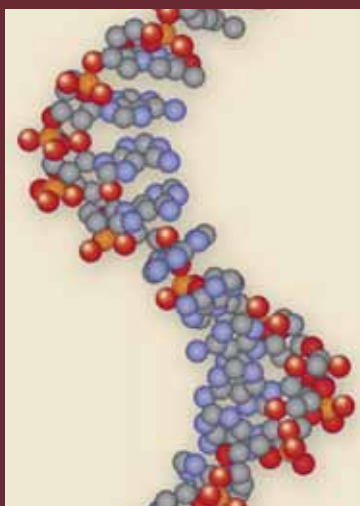


Схема «кольцевой» двухнитчатой хромосомы, каждая нить которой является гигантской белковой молекулой, причем гены представлены отдельными боковыми радикалами



Современная схема строения нити хромосомы, состоящей из дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК)

азотсодержащие основания. Исследования продолжил его последователь, американский биохимик **Федор Аронович Левин**, урожденный петербуржец.

Именно Левин выявил природу углеводных компонентов, входящих в нуклеиновые кислоты (на выделение дезоксирибозы у него ушло двадцать лет!) и установил строение молекул нуклеиновых кислот. Эти блестящие исследования, которым он посвятил 40 лет своей жизни, не принесли Левину, в отличие от его предшественника Косселя, Нобелевской премии. Оба ученых придерживались той точки зрения, что мономеры в молекулах нуклеиновой кислоты монотонно повторяются. Эта идея автоматически вычеркнула нуклеиновые кислоты из списка претендентов на звание носителей генетической информации, а Левина лишила оснований номинироваться на премию. Ученый умер в 1940 году, когда до звездного часа нуклеиновых кислот оставалось более десяти лет.

Кстати сказать, Коссель, выделивший из хромосом, кроме нуклеина, еще и гистоновые белки, указывал на большое разнообразие полипептидов и в 1912 году сделал предположение, что химической основой наследственности может быть структура белка. Эти представления надолго затормозили развитие молекулярных представлений о генах.

Основываясь на этих ошибочных предположениях, выдающийся русский биолог, основатель московского Института экспериментальной биологии **Николай Константинович Кольцов**, тем не менее, сформулировал поистине провидческую гипотезу о наследственных самовоспроизводящихся молекулах. В 1927 году он ввел понятие о хромосомах, как гигантских макромолекулах, на которых линейным чередованием разных мономеров записана генетическая информация. Кольцов предложил двухнитчатое строение молекул: при размножении нити расходятся, попадают в дочерние клетки, а затем на каждой «нитке» синтезируется ее зеркальная копия. И пусть он считал носителей наследственности белками, но выдвинутая им идея о матричном синтезе воплотится в модели двойной спирали Уотсона и Крика только через 25 лет! А еще через 35 лет сам Уотсон признается, что никогда даже не слышал об идее Кольцова...

В качестве типичного примера можно привести Институт Зоологических и Ботанических Исследований под руководством проф. Филипченко и проф. Догеля, который располагается в доме и парках семьи [герцогов] Лейхтенбергских в Петергофе. Помимо основного персонала здесь в летние месяцы бываю сотни студентов <...>. В целом создавалось впечатление очень активной и хорошо организованной школы, которая уже провела замечательные исследования, как в фундаментальной, так и в прикладной биологии.

Очень большое здание в Москве предоставлено проф. Кольцову под Институт Экспериментальной Биологии. Он включает много отделов, где проводятся работы по экспериментальной морфологии, гидробиологии и т. д. и, в частности, генетическую станцию, руководимую проф. Серебровским.

Среди новых организаций биологического профиля наиболее крупным является Институт Прикладной Ботаники и Растениеводства. Ближайшей целью является обеспечить различные регионы России сортами зерновых культур и другими сельскохозяйственными растениями. Работа ведется под руководством проф. Вавилова, который уже построил большое учреждение для этой цели со штатом в 350 человек, из которых 200 являются хорошо обученными сотрудниками.

Мы уехали, не получив четкого представления о принципах или практике коммунизма <...>

Мы привыкли думать о науке и образовании, как о наиболее процветающих в тихих местах, где они могут постепенно совершенствоваться в условиях системы, обеспечивающей разумную меру личной независимости и безопасности.

Условия, существующие в настоящее время в России, сочетают в себе все самое противоречивое, и среди угрожающих признаков дисгармонии, самый серьезный — это недостаток свободы.

(опубликовано: *Генетика*. 1999. Т. 35. №10. С. 1322—1325.)

### Из переписки

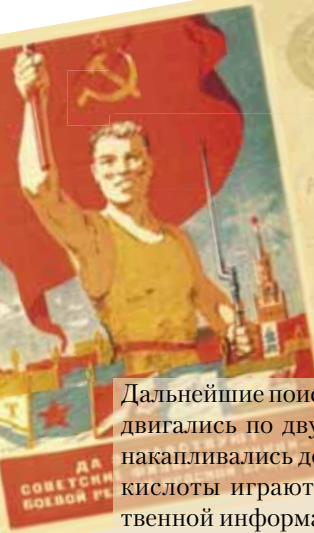
**Н. И. Вавилов — Г. Меллеру**

7 марта 1938 г.

<...> Я и мои коллеги в Институте генетики и растениеводства глубоко тронуты получением сообщения о моем избрании Президентом VII-го Международного генетического конгресса. Я уже написал профессору Крю, но я также прошу Вас передать ему мою благодарность за большую честь, оказанную мне и моей скромной работе, честь, которую я принимаю только как признание достижений в нашей стране в области биологии.

Основываясь на ошибочных предположениях...

Удивительно, но возникновение идеи о материальных носителях наследственности и открытие нуклеиновых кислот произошли почти в одно и то же время. В конце 60-х годов XIX века из белых клеток крови человека впервые был получен *нуклеин*, представлявший собой почти чистый экстракт клеточных ядер. Веществом, обладающим необычными свойствами, занялся немецкий биохимик А. Коссель. Он выделил из нуклеина первые



## «Nobel Quality»

Дальнейшие поиски носителей наследственности продвигались по двум направлениям. С одной стороны, накапливались доказательства тому, что нуклеиновые кислоты играют главную роль в передаче наследственной информации. С другой — расшифровывалась стереоструктура наследственных молекул, обеспечивающая их самовоспроизводство.

Русская наука и тут не осталась в стороне — недаром начало прошлого века называют «золотым веком» отечественной биологии. В частности, в Москве и Петербурге сформировались мощные генетические школы — вавиловская и кольцовская. В 1920–1930-е годы генетику еще не объявили в Советской России «лженаукой», а ученых-генетиков — «врагами народа». Российская генетика процветала, не ведая, что гроза близка...

Ученик Кольцова **Сергей Михайлович Гершензон** в конце 1930-х годов получил у плодовой мушки-дрозофилы мутации под воздействием чужеродной ДНК. Но проверить потрясающее предположение о возможной генетической роли ДНК он и его сотрудники не успели — в 1941 году началась война с нацистской Германией. Работы возобновились только в конце 1940-х — как раз перед последним в СССР «походом на ведьм», то бишь генетиков. Чем дело закончилось, догадаться нетрудно. В списке нобелевских лауреатов появилось имя А. Херши, вместе с М. Чейз в блестящих экспериментах (1952 г.) доказавшим, что генным материалом является ДНК.

К слову, в 1960-е годы Гершензон еще раз удостоился чести «не получить» Нобелевскую премию за открытие обратной транскрипции ДНК на РНК. Нобелевский лауреат Х. Темин, переоткрывший это явление и в результате упорного десятилетнего труда выделивший фермент *обратную транскриптазу*, тоже **ничего не знал** о работах Гершензона, ученого «нобелевского качества», как назвали его обозреватели журнала «Nature».

Одним из важнейших инструментов в исследованиях молекулярной структуры гена стали методы радиобиологических исследований. Можно утверждать однозначно, что нашим ученым принадлежит приоритет в открытии явлений радиационного и, более широко, искусственного мутагенеза в целом. И если научный поиск в чем-то похож на спортивное соревнование, то нужно отметить — на этот раз оно шло исключительно внутри российской «национальной сборной».



Н. В. Тимофеев-Ресовский. В 1945 г. был обвинен в «невозвращении на Родину». Арестован и осужден на 10 лет лагерей. Член девяти академий и научных обществ мира (кроме Академии наук СССР)



Ленинградские генетики. Слева направо: И. А. Захаров (Гезехус), И. И. Соколов, С. Г. Инге-Вечтомов, Ю. А. Волчков, М. Е. Лобашев, В. Г. Смирнов (1961 г.)

## Без вины виноватые

В 1916 году, еще ничего не зная о природе генов, Кольцов предположил, что скачкообразные наследственные изменения (мутации) могут происходить под действием факторов внешней среды — недавно (по тому времени) открытого радиационного излучения и активных химических веществ. Проверить идею тогда не удалось — в России грянули революции, плавно перешедшие в гражданскую войну...

Вернулись к этой гипотезе значительно позже. В 1932–1938 гг. сотрудник кольцовского института **Владимир Владимирович Сахаров** и ленинградский генетик **Михаил Ефимович Лобашев** установили мутагенное действие на дрозофилу различных химических веществ (йода, аммиака). Настоящий прорыв в этой области был сделан любимым учеником Кольцова **Иосифом Абрамовичем Рапопортом**, который вместе с Шарлоттой Ауэрбах был выдвинут на Нобелевскую премию за открытие супермощных химических мутагенов. Родина посчитала вычищенного из коммунистической партии Рапопорта «недостойным», и премию он не получил. Для того времени событие неувидительное и даже во многом логичное. Правда, от советской идеологии без вины пострадала и не имевшая к ней никакого отношения Ш. Ауэрбах — она разделила с Рапопортом его нобелевскую судьбу.

Ленинградцы успешно «состязались» с москвичами. Именно выпускник Ленинградского мединститута **Максим Николаевич Мейсель** в 1928 году обнаружил первые доказательства химического мутагенеза при воздействии на дрожжи хлороформом. Его учитель — известный микробиолог академик **Георгий Адамович Надсон** — вместе с молодым **Григорием Семеновичем Филиповым** стали пионерами радиационного мутагенеза, получив в 1925 году под влиянием ионизирующего излучения устойчивые мутантные расы плесневых грибов.

Но даже самого понятия «генетика микроорганизмов» тогда не существовало, и Нобелевская премия за радиационный мутагенез (1946 г.) досталась Г. Меллеру. Это был тот самый знаменитый Меллер, который, побывав в 1922 году в гостях у кольцовского института, подарил ему целую коллекцию мутантных рас дрозофилы. Он открыл явление радиационного мутагенеза уже на классическом генетическом объекте — дрозофиле — в 1927 году, на два года позже наших соотечественников, и намного их пережил. Для полноты картины нелишне напомнить, что уже с 1928 года в СССР успешно применяли рентгеновские излучения для повышения эффективности сельскохозяйственной селекции.

Закономерности возникновения мутаций под действием радиации начал изучать ближайший ученик Кольцова — **Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский**. В середине 1920-х годов он — в силу разных обстоятельств — оказался сотрудником отдела генетики берлинского Института исследования мозга.

<...> Институт генетики требует с моей стороны большой работы. Строительство здания [здания Института генетики — Ю. В.] идет хорошо. Я надеюсь, что в мае оранжереи будут готовы, но официальное открытие будет не раньше поздней осени. Строительные леса уже сняты.

<...> Рад сообщить вам, что за последние месяцы достигнута большая гармония среди генетиков Москвы. Кольцов и его группа, а также Серебровский и селекционеры — все они начали рассматривать Институт генетики как реальный центр работ по генетике.

22 мая 1938 г.

<...> Мы все еще продолжаем дискуссию. Главный пункт дискуссии сейчас, насколько я понимаю, состоит в том, обязательно или необязательно расщепление гибридов и действительно ли числовое соотношение в отдельных семьях есть 3:1. Доктор Лысенко предполагает, что этот закон может быть верен статистически при большом числе [скрещиваний — Ю. В.], но не в индивидуальных семьях. Таким образом возникает вопрос о самом основании Менделевских законов. Поэтому Ваша книга, так же как и книга Моргана, чрезвычайно полезны. Теперь вся классическая литература переведена на русский язык.

18 декабря 1938 г.

<...> Как раз сейчас мы ведем горячую борьбу за менделизм и «морганισμό». Происходит довольно быстрая эволюция. Дискуссии, которые мы вели в 1936 году, приобрели еще более жестокие формы. Действующие лица (actors) драмы почти те же. Теперь сомнения концентрируются относительно реальности закона 3:1. Недавно имела место некая дискуссия о преподавании генетики и селекции растений в университетах и других высших учебных заведениях. Некоторые экстремисты из Одессы полагают, что менделизм и хромосомная теория не имеют место в действительности и должны быть заменены дарвинизмом и теорией развития Мичурина и Лысенко. Сегодня я написал статью для прессы в ответ на эту критику (\* что означает «хромосомная теория», примечание, сделанное от руки Н. И. Вавиловым).

<...> Институт Кольцова теперь входит в состав Академии наук как отдельный институт. Гершензон недавно защитил докторскую диссертацию без большого успеха.





«Как причудливо тасуется колода!» — можем воскликнуть мы вслед за разноглазым булгаковским магом. Именно Тимофеев-Ресовский стал тем звеном, которое через десятилетия и континенты напрямую свяжет кольцовские идеи о строении гена со знаменитой спиральной моделью ДНК.

Развивая представления о физико-химической природе хромосом и опираясь на результаты исследований по радиационному мутагенезу, Тимофеев-Ресовский в «команде» с М. Дельбрюком (будущим нобелевским лауреатом) и К. Циммером подтвердил предположение о мономолекулярности хромосом и рассчитал приблизительный размер гена. Будучи опубликованной, «модель трех» произвела сильное впечатление на всемирно известного физика-теоретика Э. Шредингера, одного из создателей квантовой механики. В книге «Что такое жизнь? С точки зрения физика» он развил квантовую модель гена-молекулы и изложил последовательный ряд физических явлений, которые могли бы лежать в основе генетических механизмов.

Влияние идей Шредингера на дальнейшее развитие молекулярной биологии трудно переоценить. «Что такое жизнь?» была настольной книгой Крика и Уотсона. Последний, кстати, стажировался в группе бывшего физика-теоретика Дельбрюка, полностью посвятившего себя, после работы с Тимофеевым-Ресовским, молекулярной генетике. И Уотсон, всемирно известный ученый, нобелевский лауреат, назовет себя впоследствии «научным внуком» Тимофеева-Ресовского. Круг замкнулся.

После всего сказанного никого не удивит тот факт, что «зубр» российской генетики Тимофеев-Ресовский в 1950-м году был выдвинут на Нобелевскую премию за исследования по структуре гена. Неудивительно, впрочем, и то, что этой премии он не увидел, повторив судьбу Рапопорта.

**Н**аш краткий исторический очерк будет неполным, если мы не упомянем о важнейшем открытии, завершившем поиски тайны наследственности, — расшифровке генетического кода.

Проблему шифрования генетической информации поставил еще Шредингер, а ключ к ее решению дал тоже физик-теоретик. Это был **Георгий Антонович Гамов**, в 28 лет ставший членом-корреспондентом АН СССР, а в 29 лет (в 1933 г.) — «невозвращенцем» Джорджем Гамовым. В 1950-е Гамов заинтересовался молекулярной биологией и, используя в качестве обоснования... колоду игральных карт, масть которых соответствует азотистым основаниям — пуринам и пиримидинам, предложил модель генетического кода. Он совершенно правильно утверждал, что кодирующие группы могут быть только триплетными, а 64-х комбинаций, полученных чередованием четырех различных нуклеотидов по три, вполне достаточно для кодирования двадцати аминокислот. Гамов также определил и другие свойства генетического кода, в дальнейшем получившие подтверждение, — *неперекрываемость* и *вырожденность*. Однако выигрыш в этом генетическом «покере» достался не Гамову — его получили блестящие экспериментаторы М. Ниренберг, Х. Корана и Р. Холли.



Советские генетики на Международном генетическом конгрессе, Берлин, 1927 г.



Герман Джозеф Меллер, будущий нобелевский лауреат, в 1934—1937 гг. работал старшим генетиком в московском Институте генетики АН СССР

Подвести итоги, наверное, следовало бы любимой присказкой Гамова: «Судьба — индейка, а жизнь — копейка». Мы не будем этого делать. Да, путь генетики к открытию тайны носителей наследственности усеян Нобелевскими премиями, и в перечне лауреатов нет фамилий наших соотечественников. Но это не отменяет того непреложного факта, что их научный гений во многом определил движение и развитие этой великой идеи. А Нобелевская премия... Нет уверенности, что ее получил бы и великий Мендель, который, мечтая об официальном дипломе учителя, дважды проваливал экзамен по биологии. Пусть судьба — индейка, но для жизни, страсти и таланта эквивалента нет!

Редакция благодарит чл.-к. РАН И. А. Захарова и чл.-к. РАН И. Ф. Жимулева за помощь в подготовке материала

<...> Новое здание для Института генетики снаружи почти закончено. Как внутри, так и снаружи оно прекрасно и в следующую весну или лето оно будет готово для размещения сотрудников. <...> Наша экспериментальная работа успешно развивается во всех отделах как в Институте генетики, так и в Институте растениеводства.

12 июня 1938 г.

<...> Дискуссия между генетиками и агробиологами продолжается. Она касается, как я писал Вам ранее, признания законов Менделя и хромосомной теории. Наши оппоненты являются практически нео-ламаркистами. Они придают большое значение вегетативной гибридизации, хотя относительно нее и всех таких вопросов они, конечно, не имеют экспериментальных данных. Это в основном вера. <...> Единственный выход для нас — это показывать все более и более определенно важность современной генетики для селекционной работы.

**Г. Меллер — Н. И. Вавилову**

8 декабря 1938 г.

<...> СССР может, конечно, продемонстрировать очень важные результаты по проблеме гена и мутационной теории и по связанным с этим проблемам, а также и по другим вопросам генетики и было бы желательно для советских участников Конгресса представить несколько докладов <...>

**Н. И. Вавилов — Г. Меллеру**

26 июля 1939 г.

Я с очень большим сожалением информирую Вас, что никто из нас не поедет в Эдинбург.

26 августа 1939 г.

<...> Мое мнение, что генетика вступает в период еще большей активности. Вы знаете, что все мы являемся интернационалистами и в нашей работе не отделяем себя от мировой науки. Было бы очень интересно услышать Ваше слово о Конгрессе, обо всех новых достижениях, сообщенных на нем. <...> Я очень сожалею о всех беспокойствах, которые мы причинили Вам и профессору Крю, но события иногда перечеркивают даже наилучшие намерения.

Подготовлено по материалам сборника «Николай Иванович Вавилов и страницы истории советской генетики», М., 2000, автор-составитель И. А. Захаров

Наледи, образованные штормами в зимний период в проливе Малые Ольхонские Ворота. Фрагменты наледей внешне очень похожи на газовый гидрат. Фото О. Хлыстова

# ГАЗОГИДРАТЫ пресноводного «ОКЕАНА»

Кристаллы газовых гидратов состоят из молекул газа, впаянных в каркас из молекул воды. Фото О. Хлыстова



Ян КЛЕРКС — член-корреспондент Бельгийской Королевской академии морских наук, почетный профессор СО РАН. Занимается исследованиями на озере Байкал с начала 90-х годов. Под его руководством впервые были отобраны образцы придонных газогидратов в Южно-Байкальской впадине



Ян КЛЕРКС, Марк Де БАТИСТ, Николай ГРАНИН, Тамара ЗЕМСКАЯ, Олег ХЛЫСТОВ

Все результаты, опубликованные в этой статье, были получены международной командой ученых, работавших по российско-бельгийскому проекту при поддержке INTAS, СО РАН и РФФИ (1998—2004 гг.).

Руководители проектов:

член-корреспондент Бельгийской Королевской академии морских наук, почетный профессор СО РАН Ян Клеркс (г. Тервюрен, Бельгия);

профессор морской геологии, седиментологии и геодинамики Марк Де Батист (г. Гент, Бельгия);

кандидат биологических наук, ученый секретарь и старший научный сотрудник лаборатории микробиологии Лимнологического института СО РАН Тамара Ивановна Земская (г. Иркутск, Россия);

кандидат географических наук, заведующий лабораторией гидрологии и гидрофизики Лимнологического института СО РАН Николай Григорьевич Гранин (г. Иркутск, Россия).

*Байкал — одно из самых крупных и глубоких озер мира — уникален во многих отношениях. Он широко известен чистотой своей воды и эндемичной флорой и фауной. Но это еще и единственный пресноводный водоем на планете, где найдены газовые гидраты.*

## МЕТАН В «КЛЕТКЕ»

На непосвященный взгляд, *газовые гидраты* представляют собой обычные грязноватые комочки льда. На самом деле это уникальная твердая смесь газа и воды, в которой молекулы газа «впаяны» в каркас из молекул воды. При этом объемное содержание газа может достигать 150–180 единиц на единицу объема гидрата!

В природе газогидраты образуются в глубоководных осадках морей и океанов и в районах вечной мерзлоты — главным образом из углеводородных газов, чаще всего метана. Присутствие газогидратов в вечной мерзлоте было предсказано по данным каротажа скважин и затем обнаружено во многих арктических районах Азии, Северной Америки и Европы, где мерзлые породы распространяются на глубину более 250 метров. Подавляющее же большинство скоплений газогидратов находится в глубоководных акваториях морей и океанов, в основном на континентальных склонах и подводных поднятиях, в условиях высокого давления и низких температур.

Газогидраты образуются в консолидированных и рыхлых осадках в пределах зоны, где они могут находиться в состоянии термодинамической устойчивости. Это так называемая *зона стабильности гидратов (ЗСГ)*, которая в морских донных отложениях на средних и низких широтах прослеживается на глубинах свыше 500 м, а на высоких широтах — начиная с глубины около 200 м или глубже, в зависимости от местных температурных условий.

В районах вечной мерзлоты Аляски, Канады и России гидраты метана формируются при невысоком давлении и низких температурах, образуя сложные криогенные образования из обычного льда и собственно гидратов. Зона стабильности льда в этих районах начинается непосредственно от поверхности земли (около 0 °С). Зона же стабильности гидратов находится ниже: верхняя ее граница определяется средней температурой поверхности, внешним давлением и температурным градиентом, нижняя — опускается ниже границы зоны стабильности льда.

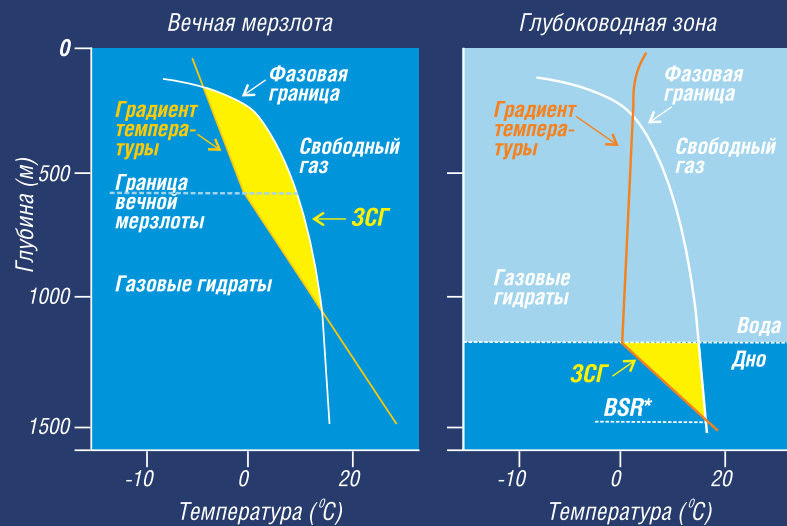
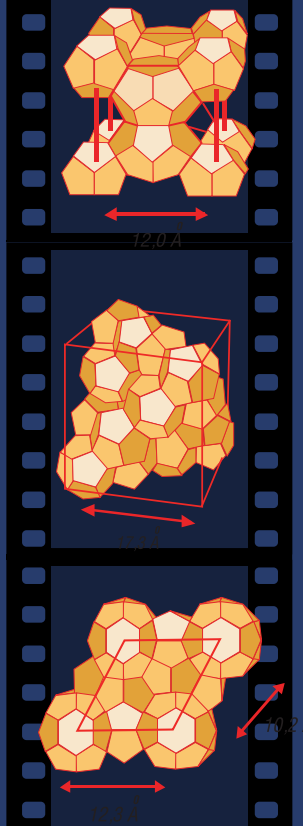


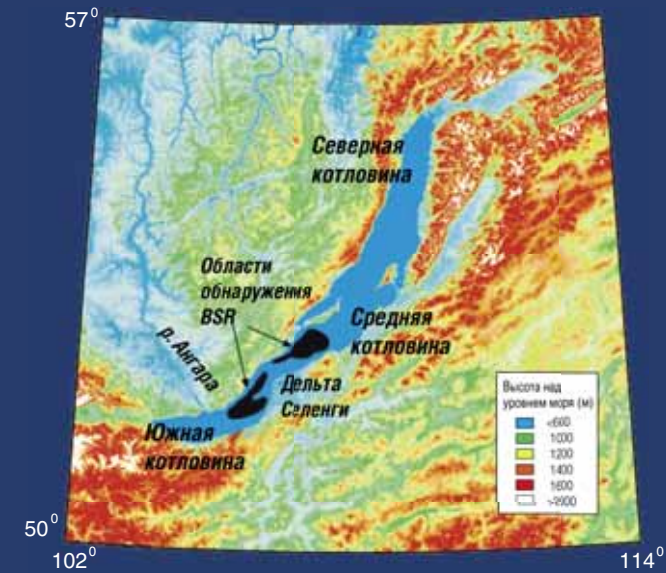
Диаграмма РТ-условий зоны стабильности газовых гидратов. Газогидраты образуются в осадках в пределах зоны, где они могут находиться в состоянии термодинамической устойчивости, — зоны стабильности гидратов (ЗСГ)



уровня моря, может стать причиной подводных оползней. Последние, в свою очередь, могут вызвать цунами и катастрофическое затопление прибрежных районов. И хотя процесс возникновения подводных оползней под влиянием газогидратов понят еще не до конца, они, тем не менее, представляют собой источник геологической опасности в морях и океанах.

Но в любом деле есть и свои светлые стороны. Ведь метан является источником органического углерода, а его общее расчетное количество в виде гидрата превышает  $10^{19}$  г — больше, чем во всех залежах планеты вместе взятых. Поэтому газогидраты рассматриваются как возможный альтернативный источник энергетического сырья, потенциальное топливо будущего. Причем самого ближайшего будущего, что предполагает промышленное освоение запасов газовых гидратов в Мировом океане уже в следующие десятилетия.

Факелы природного газа, скопившегося подо льдом озера в районе дельты реки Селенги.  
Фото О. Хлыстова



Районы расчетной мощности слоя осадков, возможно, содержащих газогидраты в акватории оз. Байкал

## НАКАЗАНИЕ ИЛИ БЛАГО?

Интерес к природным гидратам метана в последнее время значительно возрос в связи с исследованиями в области климата и природной среды, а также по ряду экономических причин.

Во-первых, гидраты, содержащие огромные количества метана, являются источником так называемого «парникового» газа, способного вызвать глобальные изменения природной среды и климата. Кстати сказать, эффективность метана как парникового газа в 21 раз превышает эффективность углекислого газа! Поскольку газогидраты существуют на границе фазовой устойчивости, то даже незначительные изменения температуры и давления ведут к их необратимому разрушению с выделением метана. Выделение большого количества метана может ускорить глобальное потепление в десять и даже в сто раз, что, в свою очередь, вызовет дальнейшее разложение природных гидратов. Полярные и приполярные районы Северного полушария, где сосредоточены большие запасы газогидратов, являются, таким образом, зонами повышенного экологического риска.

Но это не единственная опасность, которая может исходить от газогидратов. Дестабилизация газогидратов на континентальных склонах, спровоцированная изменениями температуры придонных вод или падением

*Подавляющее большинство скоплений газогидратов было найдено в глубоководных акваториях внутренних и окраинных морей, в условиях высокого давления и низких температур*

\*В англоязычной литературе такие границы называются Bottom Simulating Reflectors (BSR), буквально «отражающие границы, повторяющие рельеф дна». Этот термин закрепился и у русских геологов и геофизиков, они предпочитают так и говорить: «граница BSR». — Прим. пер.

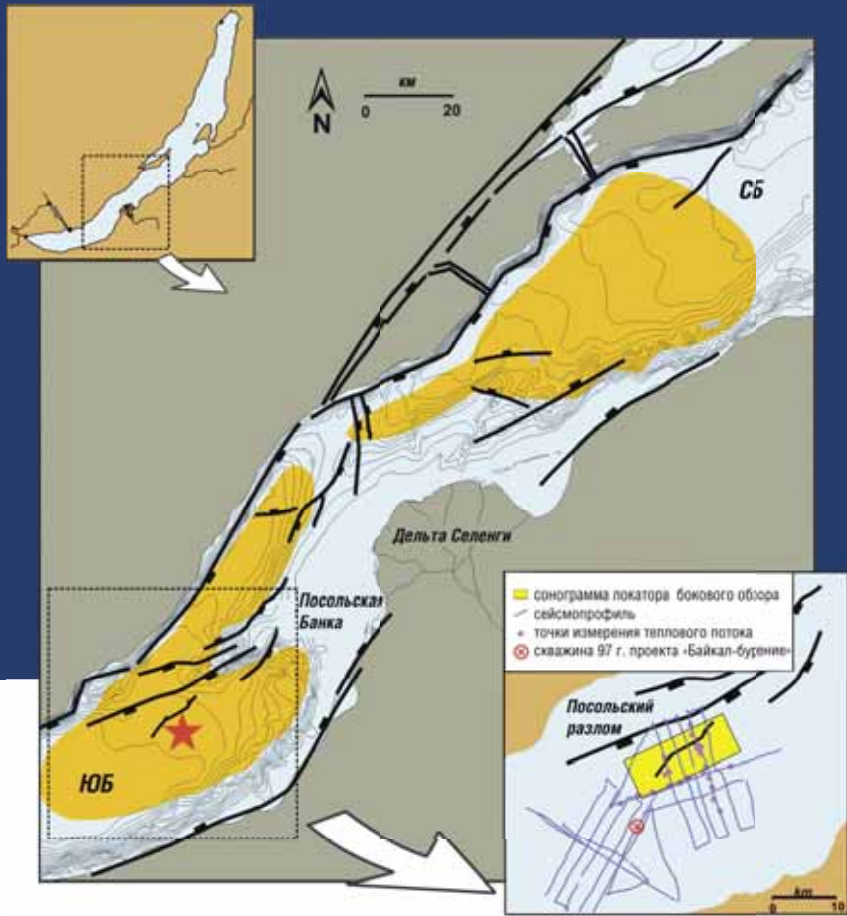


## БАЙКАЛЬСКИЕ ОТКРЫТИЯ

В последние десятилетия скопления газовых гидратов найдены во многих уголках Мирового океана. Это не могло не привлечь внимания геологов и геофизиков, изучающих донные осадки пресноводного «океана» Байкал. Как уже говорилось, для образования газогидратов в донных отложениях водоемов требуются определенные условия. Осадки должны содержать достаточное количество газа и воды, а главное — находиться под большим давлением и при низкой температуре, т. е. при глубине воды свыше 500 или даже 700–800 м. Именно такие условия характерны для глубоководных районов Байкала. При этом концентрации метана должны быть особенно высоки в местах впадения рек, в частности, вблизи дельты Селенги. Это связано с тем, что притоки озера несут с собой большое количество органического вещества, которое осаждается на дне и в донных отложениях преобразуется в метан.

Косвенные признаки присутствия газогидратов в осадках можно обнаружить по данным непрерывного сейсмопрофилирования методом отраженных волн. Поскольку осадки, содержащие газогидраты, отличаются по физическим свойствам от нижележащих слоев, на профиле возникает кажущаяся отражающая граница, соответствующая по форме контурам поверхности дна\*.

На Байкале такие границы, отождествляемые с нижней границей газогидратного слоя, впервые заметил А. Гольмшток во время российско-американских сейсмических исследований осадочного наполнения Байкальской впадины (1989–1992 гг.). Эти границы, выявлен-



Районы расчетной мощности газогидратного слоя (выше BSR, показано желтым) вблизи дельты р. Селенги на глубинах свыше 580 м, т. е. на глубоководном склоне дельты и на плоских участках дна прилегающих озерных котловин. Черными линиями показаны разломы горных пород и осадков, звездочкой — место находки газогидратов при бурении в 1997 г. (BDP-97).

На врезке: фиолетовые линии — профили сейсмоакустической съемки 1997 г., светло-желтым цветом обозначена площадь съемки глубинным локатором бокового обзора, фиолетовые точки — измерение теплового потока.

ЮБ — Южный Байкал  
СБ — Средний Байкал

### ИЗ БЕЛЬГИИ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГА — НА БАЙКАЛ

ные и прослеженные на большой площади к северу и к югу от дельты Селенги, были первыми свидетельствами присутствия газогидратов на Байкале. А в 1997 году в буровом керне в ходе работ по проекту «Байкал-Бурение» (под руководством академика М. И. Кузьмина, директора Иркутского института геохимии СО РАН) были обнаружены сами кристаллы. Образцы были подняты с глубин 120 и 160 м под поверхностью дна. Это открытие окончательно подтвердило, что донные отложения Байкала действительно содержат газовые гидраты.

Внимание исследователей байкальских донных осадков привлекла необычная форма границы ЗСГ. Уже А. Гольмшток заметил, что на сейсмических профилях она, против обыкновения, не повторяет в точности рельефа дна. Граница имела неровную форму и местами прерывалась вблизи разломов. Гольмшток предположил, что в этих местах устойчивость гидратов нарушена, газогидратный слой прерывается и метан прорывается на поверхность дна озера.

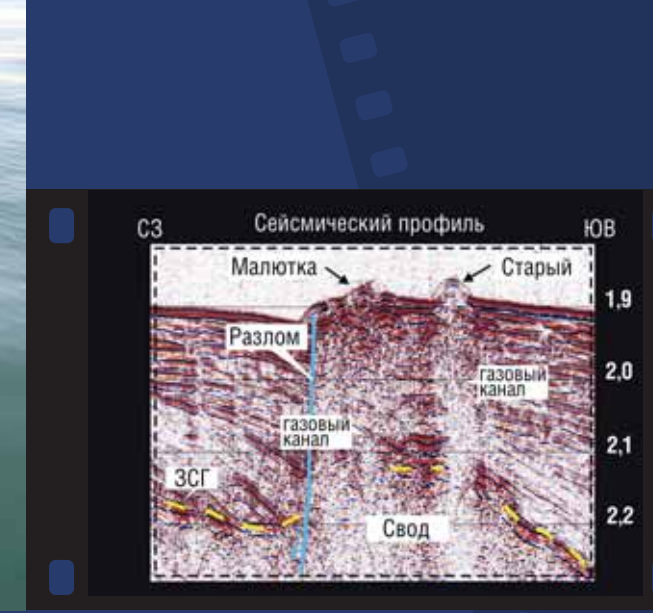
Чтобы получить точное изображение рельефа дна, коллективом российских и бельгийских ученых было решено провести сейсмопрофилирование донных отложений с высоким пространственным разрешением в сочетании с локацией бокового обзора. Проект был профинансирован фондом INTAS, а экспедицию под руководством профессора Марка Де Батиста (университет г. Гента) организовал Лимнологический институт СО РАН (г. Иркутск).

Летом 1999 года были получены детальные разрезы ЗСГ в Южно-Байкальской котловине южнее дельты Селенги, на которых хорошо видны участки нарушенного слоя газогидратов и вертикальные каналы, по которым газ поднимается вдоль разломов к поверхности дна. На снимке, сделанном с помощью локатора бокового обзора специалистами из ВНИИ океанологии (г. Санкт-Петербург), видна цепочка газовыделяющих структур, очень похожих на грязевые вулканчики. Эта цепочка, около 2 км шириной, тянется вдоль зоны разломов, где глубина воды достигает 1350 метров.



Пузырьки газа на поверхности озера — следы восходящих газовых факелов, поднимающихся со дна. Фото Н. Гранина

Грязевые вулканы по форме очень напоминают обычные. Но, чтобы убедиться в этом, нужно запастись специальным оборудованием или опуститься под воду. Выбрасывая струи жидкости и газа высотой до 25 метров, они проявляют себя на поверхности воды лишь лопающимися пузырьками газа



Сейсмоакустический разрез Южно-Байкальской котловины, на котором видно нарушенное строение границы BSR, с приподнятыми участками и разрывами. Более детально показаны очаги разгрузки газа в районе «грязевых вулканов» Старый и Малютка (проект INTAS, RSMG (Марк Де Батист))

### «ГАЗИРОВКА» ИЗ ВУЛКАНОВ

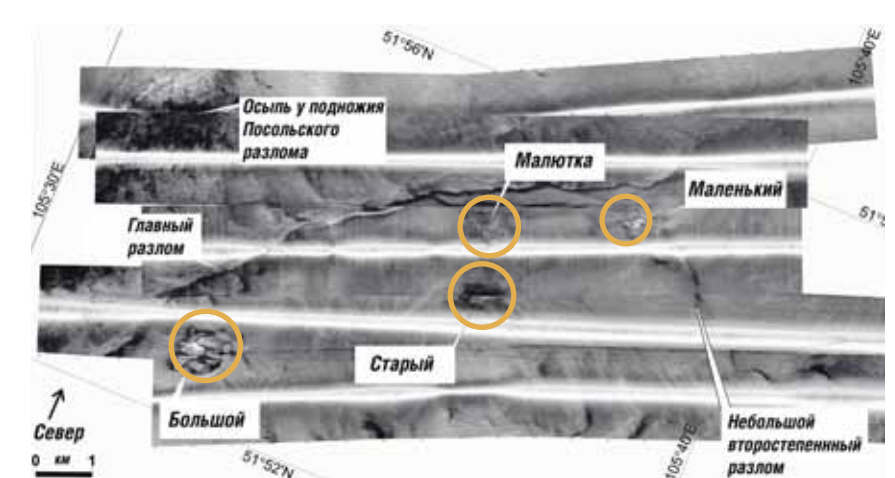
Грязевые вулканы — это донные структуры, напоминающие по форме обычные вулканы. Они появляются, когда вода, газ и ил выталкиваются из нижележащих слоев на поверхность дна моря под действием напряжения, накопленного на глубине. Во время извержений и даже в период затишья такие грязевые вулканы выбрасывают большие количества жидкости и газа. Их можно часто увидеть в тектонически активных районах или в зонах быстрого осадконакопления. Грязевых вулканов особенно много в Черном и Каспийском морях.

На сонограммах байкальских грязевых вулканов видны струи длиной около 25 м, направленные от источников газа. Химический анализ воды действительно показал повышенное содержание метана в этих струях. Это открытие очагов разгрузки газа на дне Байкала позволило предположить, что внутри грязевых вулканов могут находиться приповерхностные газогидраты, как, например, в Черном море.



Газовый гидрат метана Южной котловины Байкала. Фото А. Егорова

На сонограммах, полученных с помощью локатора бокового обзора, видны четыре крупных поднятия. Батиметрия этих четырех участков, названных Маленький, Большой, Старый и Малютка, детально исследована методом лучевого эхолотирования. Эти поднятия, являющиеся грязевыми вулканами, имеют неправильную форму и достигают 800 м в поперечнике и 200 метров — в высоту (проект INTAS, технический исполнитель — группа Sonic, ВНИИ океанологии, Санкт-Петербург)

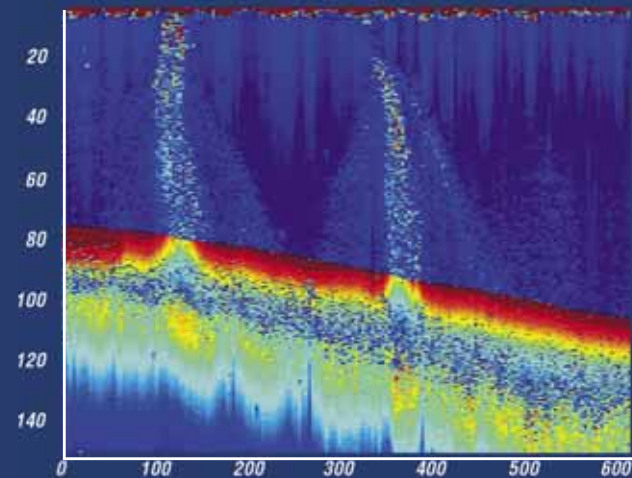


Само название «приповерхностные газогидраты» предполагает, что они находятся в самых верхних слоях донных отложений. Поэтому образцы для исследований были подняты грунтовыми трубками непосредственно над выходами газа. Эти места были заранее определены благодаря предварительному отбору проб со льда во время зимней экспедиции 2000 года под руководством Я. Клеркса, организованной Лимнологическим институтом СО РАН.

Из одного грязевого вулкана, с глубины от 15 до 40 см ниже дна, удалось извлечь слой газогидратов мощностью 10 см, состоящий из крупных кристаллов размером до 7 см. Очевидно, что мелкие кристаллики газогидратов содержались в керне и других местах, судя по строению осадочной толщи и другим показателям. Однако они, к сожалению, разрушились во время подъема колонок на поверхность.

Донные отложения Байкала представляют собой чередующиеся слои глин и темно-серого ила, насыщенного остатками диатомовых водорослей. Обнаружилось, что диатомовые слои вблизи грязевых вулканов содержат виды, вымершие почти 3 млн лет назад. В обычной последовательности осадочных слоев горизонт, содержащий эти водоросли, должен находиться на глубине около 300 метров. Но, как это обычно бывает в грязевых вулканах, флюиды, образующиеся на такой глубине, поднимаются к поверхности и во время извержений выносят осадочный материал наверх. Неудивительно, что и глубоко захороненные диатомовые водоросли были подняты к поверхности по каналам вулканов.

Гидроакустическая съемка газовых факелов выбросов метана в водную толщу из осадков оз. Байкал. Эхолотограмма Н. Гранина



#### МЕТАН И КАЧЕСТВО БАЙКАЛЬСКОЙ ВОДЫ

Когда было обнаружено, что из донных осадков через подводящие каналы в воду Байкала поступает метан, возник вопрос: как метан влияет на качество байкальской воды и строение водной толщи?

Изучением этого вопроса активно занялись в последние годы. На дне вблизи источников газа было отмечено лишь небольшое повышение содержания метана, а наиболее высокие концентрации обнаружались в верхних 25–50 м воды. Выяснилось, что метан из донных очагов разгрузки оказывает гораздо меньшее влияние на химический состав воды, чем метан из поверхностных источников. Распределение метана по площади в поверхностных водах наглядно свидетельствует о связи его поступления с речным стоком.

С другой стороны, данные многолетних исследований вертикального распределения физических свойств воды указывают на существование аномального слоя глубинных вод в Южно-Байкальской котловине, температура в котором возрастает с глубиной. В пробах воды из этого слоя иногда обнаруживаются повышенные концентрации метана и реже — немного сниженные кон-

Во время ледовой экспедиции с использованием специальной лебедки были отобраны образцы приповерхностных газогидратов. Фото Н. Гранина



Таким поэтическим термином — **ФЛЮИДЫ** (от лат. fluidus — «текучий») — геологи называют жидкие и газообразные легкоподвижные компоненты магмы или циркулирующие в земных глубинах насыщенные газами растворы

центрации кислорода. Происхождение аномального слоя связывают с перемешиванием воды под воздействием разгрузки метана из донных источников. Таким образом, метан, существенно не меняя химический состав байкальской воды, тем не менее, оказывает влияние на строение водной толщи.

Детальные исследования рельефа дна озера и строения осадочной толщи различными дистанционными методами продолжают. Выявляются все новые выходы метана, другие участки нарушения газогидратного слоя и очаги разгрузки метана помимо тех, что были найдены в Южной котловине. Выяснилось, что гидраты метана содержатся в верхнем слое осадков на обширных площадях Среднего и Южного Байкала. Остается, однако, один важный вопрос: почему слой газогидратов в Байкале нестабилен? Почему метан там просачивается на поверхность дна, в то время как в морях и океанах газогидратный слой, как правило, устойчив?

#### БАЙКАЛ – УНИКАЛЕН ВО ВСЕМ

Предположительно существует несколько причин нестабильности газогидратов. Это — быстрое накопление осадочной толщи, тектоническое поднятие земной коры, миграция флюидов, локальное растяжение коры, оползневые явления. Например, когда осадочная толща быстро нарастает, подошва зоны стабильности гидратов смещается вверх, а газогидраты в нижней части слоя разрушаются. В результате происходит накопление свободного газа.

Район дельты Селенги — участок самого значительного поступления твердого стока на Байкале и, соответственно, самого быстрого накопления осадков. Когда активизиру-

## ИЗВЕСТИЯ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО ОТДЕЛА ИМПЕРАТОРСКОГО Русского

ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА,

под редакцією правителя дѣлъ.

ТОМЪ XXIII.

№ 4.

СОДЕРЖАНИЕ:

Стр.	Стр.
В. А. Обручевъ. Наши свѣдѣнія объ образованіи ангарскаго и байкальскаго льда (Unsere Kenntnisse über d. Bildung der Eiskecke d. Angara u. d. Baikalsees v. W. Obrutschef) . . . . .	1
Смвск. Ю. Д. Тально-Гринцевичъ. Задачи современной антропологии (Die Aufgaben d. heutigen anthropologie v. I. Talko-Grinzewitsch) . . . . .	53
Я. П. Проинъ. Къ вопросу о Трапа-натана въ Сибири (Zur Frage über das Verschwinden d. Trapa-natana in Sibirien v. J. Proin) . . . . .	42
Дѣйстви В. С. Отдѣла (См. на оборотѣ).	
(Sitzungsberichte d. Ost-Sibirischen Section v. 20 mai d. bis 7 Nowember d. 1891 j.) (стр. 17—36)	

**История изучения выходов газа на Байкале** насчитывает около полутора столетий. Выходы газа в Байкале отмечали уже первые побывавшие там путешественники. В 1868 году для изучения явления была организована специальная экспедиция. В начале XX века академик В. Обручев писал: «Еще задолго до полного взламывания льда появляются на Байкале голые места, носящие у местных жителей характерное название пропарин и образующиеся, по их мнению, вследствие действия теплых подводных ключей ... сейчас же после покрытия озера льдом, когда лед еще очень тонок, на местах будущих пропарин подо льдом собираются большие пузыри воздуха (газа).



В зимнее время пузырьки газа, выделяющегося над донными источниками, вмерзают в лед. Фото Н. Гранина

Скопления метана, запасенного в виде гидратов, несут человечеству угрозу климатических и геологических катастроф. Но они же — потенциальный энергетический источник для будущего человечества



Газогидраты в грунтовых пробах выглядят как непрозрачные включения двух типов: крупные массивные комки с тонкими трещинами, заполненными осадком, и многочисленные более мелкие включения плитчатой формы, размером до 2 см. По данным газохроматографии, в составе газогидратов 99 % метана. Фото Я. Клеркса

ется один из разломов, достигающих основания зоны стабильности газогидратов, то осадочная «пробка» над областью скопления жидкости и газа может сместиться ниже границы BSR и флюиды могут устремиться вверх по разлому к поверхности дна. Теплые флюиды, поднимающиеся из-под нижней границы зоны стабильности гидратов, нарушают их устойчивость, и граница в результате перемещается на меньшую глубину.

Движение флюидов по каналам разломов, так же как и их направленная миграция, характерная для обстановок сжатия, оказывает дестабилизирующее влияние на газогидраты. Хотя в целом в Байкальской впадине преобладает напряжение растяжения, на локальных участках имеются признаки сжатия осадочной толщи. Это может приводить к дегидратации с высвобождением воды и формированию флюидных потоков. В условиях быстрого осадконакопления в районе дельты Селенги флюиды движутся в направлении минимального сжатия и накапливаются под подошвой зоны стабильности гидратов. Нижняя граница стабильности благодаря действию более высокой температуры смещается вверх. В конце концов в ней появляются нарушенные участки. В результате метаносодержащие флюиды поднимаются по

разломам в тектонически-активном районе Байкала и выходят на поверхность дна озера.

Эта необычная последовательность процессов, при которой метан накапливается в форме гидратов и высвобождается при нарушении их устойчивости с образованием грязевых вулканов, как и сам факт существования метановых газогидратов в условиях пресноводного водоема, — еще одно очередное свидетельство уникальности Байкала. Но главное не это. Вспомним: метан в форме гидратов, это потенциальное топливо будущего, устойчив только при низких температурах и высоком давлении. Поэтому их изучение в теплых и глубоких морях крайне затруднительно: гидраты просто «не доживают» до поверхности. Такой проблемы в холодном и глубоком озере не существует, а зимний, закованный в лед Байкал — удобная рабочая площадка для исследований. Подтверждая свой статус международной природной лаборатории, пресноводный «океан» Байкал радушно приветчает на своих берегах ученых из Санкт-Петербурга и Японии, из маленькой континентальной Бельгии и с далеких берегов теплого Индийского «собрата»...

#### Литература

De Batist M., Klerkx J., van Rensbergen P., Vanneste M., Poort J., Golmshtok A., Kremlev A., Khlystov O. & P. Krinitsky. Active Hydrate Destabilization in Lake Baikal, Siberia // Terra Nova. — 2002. — 14(6). — P. 436–442.

Гранин Н. Г., Гранина Л. З. Газовые гидраты и выходы газов на Байкале // Геология и Геофизика (Russian Geology and Geophysics). — 2002. — Т. 43. — № 7. — С. 629–637 (589–597).

Van Rensbergen P., De Batist M., Klerkx J., Hus R., Poort J., Vanneste M., Granin N., Khlystov O. & Krinitsky P. Sublacustrine mud volcanoes and methane seeps caused by dissociation of gas hydrates in Lake Baikal // Geology. — 2002. — 30(7). — P. 631–634.

Клеркс Я., Земская Т. И., Матвеева Т. В., Хлыстов О. М., Грачев М. А., Намсараев Б. Б., Дагурова О. П., Голобокова Л. П., Воробьева С. С., Погодаева Т. П., Гранин Н. Г., Калмычков Г. В., Пономарчук В. А., Шоджи Х., Мазуренко Л. Л., Каулио В. В., Соловьев В. А. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал // ДАН. — 2003. — Т. 393. — № 6. — С. 822–826.

## О газах, выделяющихся со дна Байкала \*).

Журнал Общества Сибирских ученых Императорского Русского Географического Общества 1861 года, декабрь 1861 г.

7-го Ноября А. М. Ломоносов вместе с А. Л. Чепановским выехали из Иркутска и на тот-же день прибыли в с. Лиственчатое, находящееся на западном берегу Байкала, в 60 верстах от Иркутска и служащее пристанью для пароходов. Цель поездки состояла из следующего:

- 1) Узнать, где происходят газова выделение, отобрать образцы и отнести их к местным жителям.
- 2) Исследовать качественно выделяющийся газ в с. Лиственчатого и достигнуть заливки озера Олзона.
- 3) Добыть экземпляры байкальской губки *Spongia baikalensis* и других растений, если таковые существуют, для определения тисля составных частей воды Байкала, которая находится в весьма малом количестве.
- 4) Уехать от сибирянина села Лиственчатого, насколько слухи о выделяющемся газе справедливы, так как в г. Иркутск слухи эти были слишком преувеличены и возбуждали опасение за повторение землетрясений, бывших 30 и 31 декабря 1861 г.

Г. Чепановский задал исследователям геологического строения окрестностей у села Лиственчатого.

\*) Перепечатано из: «Известия Императорского Русского Географического Общества». Том V, № 2, стр. 67–73. С.Петербург, 1861 год. *Прим. ред.*

Если лед пробить ловким ударом пещни и подвести к отверстию зажженную спичку, то из отверстия вырывается яркое пламя, подымающееся иногда на высоту сажени, смотря по величине пузыря». Особое внимание этому явлению уделялось в 20—30-е годы XX века, когда Байкал считали перспективным нефтеносным районом. Эти надежды базировались на том, что в составе газов из донных источников были обнаружены высокое содержание метана. По многим признакам, интенсивность разгрузки газов в озере значительно снизилась за последние полвека.

Редакция благодарит Олега Михайловича Хлыстова, руководителя группы «Геология озера Байкал» (Лимнологический институт СО РАН) за помощь в подготовке материала

# Байкал —



## Омулевая бочка



Фото О. Тимошкина

СУХАНОВА Любовь Васильевна — старший научный сотрудник лаборатории биологии рыб и водных млекопитающих Лимнологического института Сибирского отделения РАН (г. Иркутск)



*Королевские династии вызывают у нас почтение, династии поп-звезд — улыбку. А как насчет потомственных ихтиологов? Любовь Суханова — настоящей «голубой крови» ихтиолог в третьем (!) поколении. Ихтиологами были ее дедушка с бабушкой по материнской линии, другой же дедушка — заядлым рыбаком. Родители после окончания калининградского вуза приехали на Байкал, где и работают уже почти 40 лет именно с байкальским омулем. Так что любовь к науке и Байкалу у Любы в «генах».*

В экспедиции вместе с мамой (в садках плавает омуль, отловленный для искусственного разведения)

Экспедиция полевого отряда ихтиологов наблюдает нерест байкальского омуля (это самый большой омуль из всех, когда-либо виденных автором)

На Байкале все необычно и загадочно. Тайны его глубин завораживают и уже не отпускают соприкоснувшихся с ними. Все другое будет казаться будничным и скучным. Байкал — это судьба, а от судьбы, как известно, не уйдешь.

Разве могла это знать одна маленькая девочка, заявившая однажды: «Я ни за что не буду ихтиологом!». Она не понаслышке знала, что такое экспедиция. Знала, как бывает грозен разбушевавшийся Байкал, как холодно и неуютно осенней ночью в лодке, если сломался мотор. «Я не хочу туда, хочу домой, в квартиру» — говорила она, всхлипывая. «Туда» — это в рыбацкое зимовье в устье реки, где полевой отряд ихтиологов, в котором работали родители девочки, наблюдал нерест байкальского омуля.

Ихтиологом девочка, действительно, не стала, выбрав в качестве специальности на химико-биологическом факультете университета молекулярную биологию. И все же судьба привела ее к Байкалу и... к тому же байкальскому омулю. Привела — и улыбнулась. Повезло?! Байкальские сиговые, к которым относится и байкальский омуль, оказались замечательным объектом для изучения эволюционных процессов, происходящих в озере, и в группе сиговых рыб, в частности. Причем объектом, биология и экология которого детально исследовалась на Байкале на протяжении более полувека.

Наверное, не будет преувеличением сказать, что байкальский омуль так же широко известен, как и сам Байкал. Для многих людей эти понятия неразделимы и обозначают нечто, единственное в своем роде. Однако мало кому известно, что по современной научной классификации байкальский омуль является разновидностью омуля арктического, и в Северном Ледовитом океане его гораздо больше, чем в Байкале.

Долгое время считалось, что предок байкальского омуля проник в Байкал сравнительно недавно (конечно, в геологическом масштабе времени). Поэтому он так похож на своего арктического родственника в отличие от коренных обитателей с древней байкальской родословной, которые прошли долгий путь эволюции и превратились в новые, нигде больше не встречающиеся виды, — эндемиков Байкала. Интересно, что в первом систематическом описании байкальский омуль носил имя *Salmo migratorius* (Georgi, 1775), но затем несколько раз переименовывался, прежде чем приобрести современное официальное имя *Coregonus autumnalis migratorius* (Берг, 1932). Как отметил К. И. Мишарин (1958), с этого времени и «закрепилось» за ним название, наиболее точно соответствующее «...его систематическому положению и географическому распространению», т. е. как подвида арктического омуля, проникшего в Байкал через северные реки.

Но не все были согласны с такой точкой зрения. Противники этой гипотезы считали, что предки байкальско-обитали в водоемах, вавших на месте ныкала задолго до об- в его современном обоеих мнений были достаточны косвенны. Значительное морфологическое сходство байкальского омуля и омуля арктического рассматривалось многими исследователями как прямое доказательство их близкого родства, и гипотеза о недавнем вселении омуля в Байкал приобрела статус официальной. С другой стороны, не все морфологи считали это сходство достаточно близким и, соответственно, родство — бесспорным. В результате дискуссия о том, откуда же взялся байкальский омуль, не только продолжалась более двух столетий, но не затихла и по сей день.

Проблема происхождения байкальского омуля — лишь одна из проблем изучения Байкала. Но отвлечемся ненадолго от Байкала и вспомним о сиговых рыбах в целом. Сиговые — наиболее эволюционно совершенная группа из всех лососевидных рыб. Самым распространенным среди них является обыкновенный сиг (*Coregonus lavaretus* L.), населяющий реки и озера Северной Америки и Евразии. Сиги отличаются большой морфологической изменчивостью. На их внешний облик больше всего влияют даже не географическое положение водоема, а конкретные условия обитания.

Так, иногда в одном, даже небольшом озере исследователи могут выделить несколько разных форм сига, а на разных материках можно найти популяции, внешне очень похожие друг на друга.

Казалось бы, байкальские сиги в этом отношении ничем не примечательны. На протяжении более 50-ти лет было общепризнано, что в Байкале так же, как и во многих других озерах, обитают только две формы вида сига: прибрежная и глубоководная. Глубоководная форма — байкальский озерный сиг (*Coregonus lavaretus baicalensis* Dyb.), нерестящийся в самом озере. Прибрежная форма — озерно-речной сиг *пыжьян* (*Coregonus lavaretus pidschian* Gmelin) — не только нерестится в притоках,

но часто проводит там большую часть своей жизни (Скрябин, 1969). Исследователи предполагали, что место пелагической формы сига, обитающей в толще воды, как раз и занято байкальским омулем, — потомком и близким родственником арктического омуля, мигрировавшим в Байкал из Северного Ледовитого океана (Берг, 1932, 1948).

И все же со временем выяснилось, что в Байкале пластичность внешнего облика (фенотипическая) обыкновенного сига проявилась так, как ни в каком другом водоеме. Молекулярно-филогенетический анализ, позволивший проследить генеалогическую историю байкальских сиговых, показал, что и байкальский омуль — ни кто иной, как обыкновенный сиг. Его внешнее сходство с арктическим омулем — лишь результат приспособления к специфическим условиям обитания. Если же вспомнить, что байкальский омуль представлен в озере не одной, а сразу тремя пелагическими формами, то неизбежно приходим к выводу, что в Байкале обитают не две, а пять форм обыкновенного сига! В свою очередь, каждая из этих форм представлена несколькими репродуктивно изолированными популяциями, также неоднородными по составу. Вообразите себе, какую сложную структуру образовал этот вид

в Байкале, чтобы максимально вбирать пищевые ресурсы этого глубоководного и холодного озера.

Но что особенно удивляет — это относительная молодость весьма сложной внутривидовой структуры, хотя само отделение байкальских сига от остальных представителей вида произошло около 1,8–3,4 млн лет назад, в один из периодов высокой тектонической активности. Установлено, что между популяциями и даже между большинством экологических форм байкальских сига отсутствуют четко выраженные генетические различия.

По-видимому, должны были существовать некие причины, препятствующие длительному обособлению групп внутри озера: наиболее вероятные из них — регулярные коле-

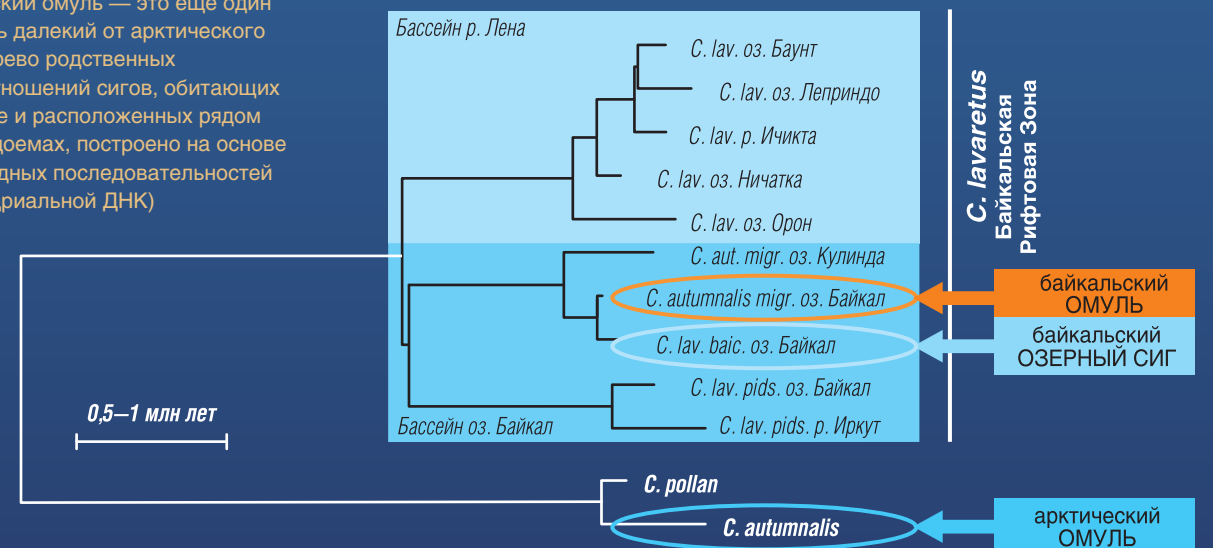
бания климата, вызванные изменениями орбитальных параметров Земли. По изменению содержания биогенного кремнезема и створок диатомовых водорослей в осадках озера Байкал можно выделить около 30-ти периодов похолоданий и потеплений климата, вызванных астрономическими причинами (Grachev et al, 1998; Карабанов, 1999). Подобные колебания имели место в разные геологические периоды, однако в плейстоцене возникли условия для настоящего оледенения (Карабанов, 1999). Образование ледников в горном обрамлении озера сопровождалось иссушением климата, значительным снижением уровня воды из-за сокращения объемов речного стока и даже исчезновением отдельных притоков. В периоды же потепления происходили обратные процессы (Mats, 1993).

Поскольку размножение омуля и озерного сига тесно связано с притоками и мелководными заливами Байкала, периоды похолоданий приводили к глубоким изменениям численности популяций, вплоть до полного исчезновения некоторых из них. Очередное потепление сопровождалось возрождением сиговых, но уже в виде новой популяционной структуры. Таким образом, существующие сегодня популяции могли образоваться не ранее окончания последнего похолодания, которое, согласно байкальской «диатомовой летописи», произошло не позже 11,3–9,5 тысяч лет назад. А что такое для естественной истории 10 тысяч лет? Лишь один краткий эволюционный миг... Но за это время обыкновенный сиг «превратился» в байкальского омуля, так же любимого нами и неповторимого, как и озеро, которое он олицетворяет.



В статье использованы фотографии В. Короткоручко и О. Тимошкина

Байкальский омуль — это еще один сиг, очень далекий от арктического омуля (древо родственных взаимоотношений сига, обитающих в Байкале и расположенных рядом с ним водоемах, построено на основе нуклеотидных последовательностей митохондриальной ДНК)







Молодой ученый Е. П. Тереза работает планктонной сетью Джеди на НИС «Верещагин». Фото И. Ханаева

Наталья МЕЛЬНИК

# РАКООБРАЗНЫЕ БАЙКАЛЬСКИХ ВОД

В глубинах Байкала, так похожих на океанские, обитают удивительные животные, облик и повадки которых продолжают поражать исследователей. В популярной литературе часто упоминаются эндемичные полупрозрачные живородящие голомянки (рыбки из семейства *Comberhoridae*), доминирующий вид байкальского зоопланктона — небольшой веслоногий рачок эпишура (*Epischura baicalensis*). Однако незаслуженно редко вспоминают еще об одном замечательном эндемичном ракообразном — о макрогектопусе (*Macrohectopus branickii*), единственном крупном представителе зоопланктона озера.

## ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ХИЩНИК

Макрогектопус принадлежит к отряду *амфипод* (Amphipoda), насчитывающему в Байкале более 300 видов. Однако только макрогектопус, выбравший своей обителью более чем 1000-метровую толщу озера, является *пелагическим* видом. Остальные байкальские амфиподы — представители *бентоса*, т. е. делят между собою территорию дна и придонные слои воды.

Зачем макрогектопусу темные и холодные глубины, если он вынужден ежедневно подниматься оттуда к поверхности, чтобы питаться там водорослями и мелкими беспозвоночными? Как и когда он занял эту пространственную нишу? Кто был непосредственным предком данного вида? Дискуссии по этим вопросам не прекращаются, а ответы затеряны в глубинах времен, так как макрогектопус, согласно оценкам молекулярных систематиков, по байкальским меркам вид далеко не молодой.

А трудности в изучении его биологии состоят в том, что стандартные орудия лова — даже большие океанические планктонные сети — недолавливают этих рачков из-за их высокой подвижности. Кроме того, этот вид часто образует скопления и для его полного учета необходимы дистанционные методы.



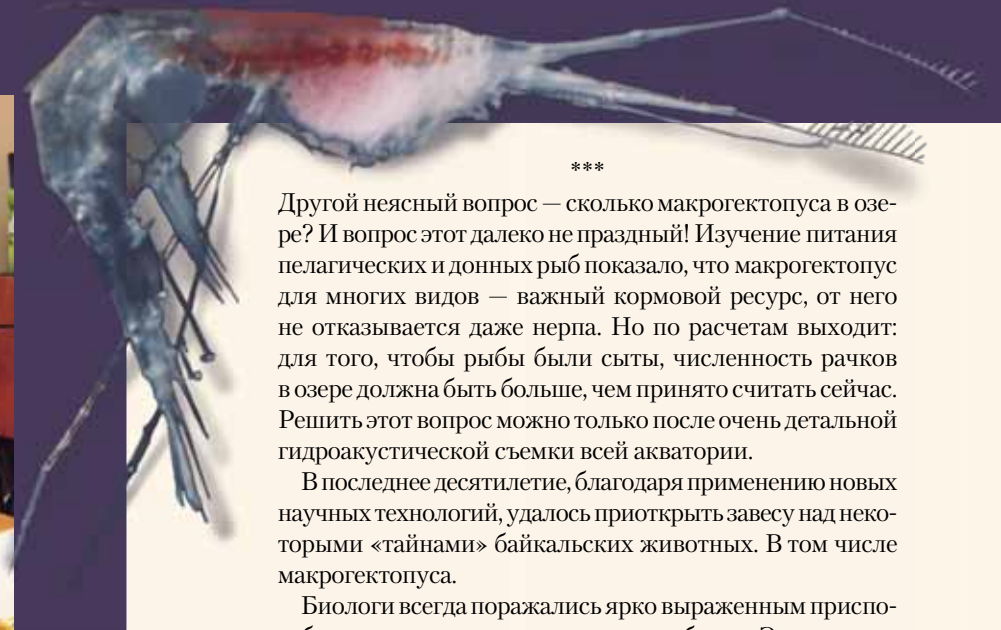
Фото Е. Наумовой



Фото Е. Наумовой



МЕЛЬНИК Наталья Григорьевна — кандидат биологических наук, заведующая лабораторией биологии рыб и водных млекопитающих Лимнологического института Сибирского отделения РАН (г. Иркутск). Член международной Ассоциации теоретической и прикладной лимнологии (SIL)



\*\*\*

Другой неясный вопрос — сколько макрогектопуса в озере? И вопрос этот далеко не праздный! Изучение питания пелагических и донных рыб показало, что макрогектопус для многих видов — важный кормовой ресурс, от него не отказывается даже нерпа. Но по расчетам выходит: для того, чтобы рыбы были сыты, численность рачков в озере должна быть больше, чем принято считать сейчас. Решить этот вопрос можно только после очень детальной гидроакустической съемки всей акватории.

В последнее десятилетие, благодаря применению новых научных технологий, удалось приоткрыть завесу над некоторыми «тайнами» байкальских животных. В том числе макрогектопуса.

Биологи всегда поразились ярко выраженным приспособительным чертам в его внешнем облике. Эти рачки — сильные и активные пловцы. Наблюдения, проведенные в экспериментальных условиях, подтвердили их хорошую маневренность. Так, эхолотные наблюдения, проведенные с научно-исследовательского судна «Верещагин», позволили определить, что скопления рачков способны развивать при вертикальных миграциях скорость до 4 м/мин (при максимальном размере самих животных — 40 мм). Взгляните на фотопортрет макрогектопуса, на котором видны расправленные антенны, гармонично оперенные щетинками, — так и хочется назвать его подводной птицей! Однако эта «птичка» далеко не горлица: если мы посмотрим на нашего рачка в анфас, то увидим в нем черты персонажа из известного американского фильма «Хищник».

Комплексные исследования суточных миграций животных пелагиали, проведенные группой молодых лимнологов в 1999–2001 гг., показали, что по пищевому и миграционному поведению макрогектопус ближе к рыбам, а вот молодью рыбки голомянки (маленькие 8–10-миллиметровые мальки) — напротив, к зоопланктону. Есть сведения, что макрогектопус способен даже нападать на таких малюток. Поедает он и собственную молодью.

Днем макрогектопус укрывается в темных глубинах озера, а ночью выходит на охоту в поверхностные слои воды. Такой образ жизни сделал этого сумеречного хищника очень чувствительным к свету. Если ночью включены корабельные прожектора, то рачки не поднимаются к самой поверхности и остаются на глубинах более 40 м, образуя там плотное скопление. Освещенность воды на этой глубине в подобных условиях равна всего 0,0001 лк. Чрезвычайно высокая чувствительность к свету у макрогектопуса предполагает зависимость его миграций от фазы Луны. Схожее явление, связанное с ограничением вертикальных миграций, обнаружено и у балтийской *мизиды* (*Mysis mixta*) — экологического эквивалента нашего ракообразного.

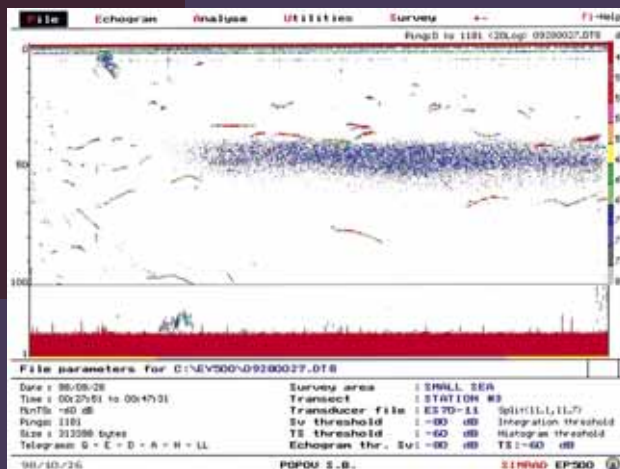
Молодь (длиной тела 1–3 мм), молодые самки (3–14 мм), взрослые самки (14–40 мм) и самцы (3–6 мм, что гораздо меньше размеров самок!) скапливаются днем в разных и довольно узких слоях водной толщи. Подробная гидроакустическая съемка высокочастотными эхолотами установила, что рачки образуют отдельные скопления и в разных местах своей большой «квартиры» — котловины озера. Однако до сих пор остается неясным, являются ли жильцы этой «квартиры» одной гигантской популяцией или делятся на несколько изолированных групп? Более того, некоторые ученые предполагают, что в озере существуют даже разные виды макрогектопусов! Решение этого вопроса — за молекулярными биологами. Например, при изучении генетического разнообразия малой голомянки было установлено, что этот вид в Байкале не подразделяется на отдельные популяции. Однако механизмы такого успешного «перемешивания» обитателей водной байкальской толщи и поддержания их популяционного единства при столь огромных расстояниях (от севера озера до самых южных его акваторий — более 600 км) неизвестны. Ведь собственных активных горизонтальных миграций ни у макрогектопуса, ни у голомянок пока не обнаружено...



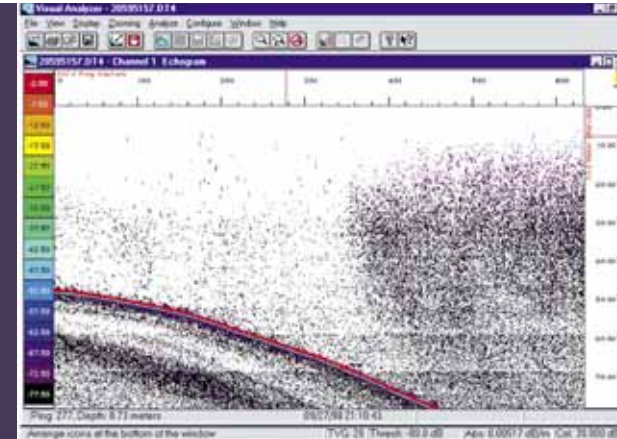
а



Макрогектопус — единственный из амфипод, выбравший своей «обителью» многометровую водную толщу. а — вертикальный подъем макрогектопуса и «зависание» в толще воды; б — горизонтальное движение; в — пассивное погружение. Фото С. Дидоренко



Эхограмма скопления макрогектопуса в Малом Море озера Байкал в слое воды 0–100 м. По оси X — время; по оси Y — глубина, м



На эхограмме показана граница скопления макрогектопуса в мелководной зоне озера Байкал. По оси X — время в акустических временных интервалах (пингах); по оси Y — глубина, м

\*\*\*

Применение электронных микроскопов позволило выявить особенности глаз макрогектопуса, обеспечивающие их высокую светопропускающую способность. Из-за рудиментарности экранирующих пигментных клеток глаза макрогектопуса просто беззащитны к избытку света. Иногда рачков находят днем на поверхности воды. Скорее всего, попадая случайно в эти слои подобно другим планктонным организмам, которые не всегда могут сопротивляться движению воды, рачки теряют ориентацию и, возможно, слепнут.

Эхолоты открыли еще одну важную черту в поведении макрогектопуса, которая дает нам ценную информацию о строении всей экосистемы Байкала. Дело в том, что этот вид достаточно строго прописан в «открытой воде», так называемом «коренном» Байкале, и для прибрежной зоны не характерен. Но где же конкретно проходит граница этого биотопа? При эхолокации толщи воды в Баргузинском заливе и Малом Море было обнаружено, что скопления рачков, «как бритвой», обрезаются над глубинами, близкими к 100 м. В более мелких местах встречаются лишь отдельные особи. Фактически мы столкнулись с широко известным в гидробиологии явлением «избегания берегов». Видеонаблюдения подводными камерами показали, что рачки встречаются и в мелководной зоне, но только над «голым дном», т. е. там, где нет донных растений.

Это явление навело на мысль, что именно пояса байкальских донных водорослей, которые в «живом» состоянии встречаются на глубинах не более 100 метров (т. е. в зоне, оптимальной для фотосинтеза), указывают макрогектопусу на «чужую территорию». Вспомним то огромное разнообразие амфипод, о котором мы гово-

рили выше. Эти амфиподы обитают среди донных растений в разных микробиотопах. И демаркационная линия, разделяющая животных по принадлежности к бентической или к пелагической пищевой сети, также лежит на глубине около 100 м.

Закономерный вопрос: какие же из специальных чувствительных образований-рецепторов используются макрогектопусом при определении границ «чужой территории»? Фоторецепторы? — Но граница строго соблюдается и в ночное время. Может быть, хеморецепторы или механорецепторы? У рачков, действительно, обнаружены сенсорные органы, однако их функция точно не установлена. На эхограммах видно, что, например, на резкое увеличение звука в воде из-за разворота судна рачки реагируют «бегством». Может быть, прибрежная зона более «шумная», чем открытый и более глубоководный Байкал? И где-то есть пороговые значения, которые макрогектопус воспринимает однозначно: «Дальше нельзя!»?

\*\*\*

Однажды зимние суточные наблюдения на озере совпали с прохождением атмосферного фронта, сопровождавшимся необычайно сильным ветром. И все же наша научная молодежь не прекратила наблюдений за эпишурой и молодью голомянок: пробы по-прежнему отбирались каждые три часа. Выяснилось, что и рыбки, и рачки резко снизили пищевую активность в «бурную» ночь, поменялся и характер их передвижений. Были высказаны две гипотезы о причинах этого явления — аномалии в электромагнитном поле и опережающая штормовой ветер инфразвуковая волна. Любопытно отметить, что по литературным данным, электрочувствительными, как правило, оказываются рыбы, чья кожа лишена чешуи. Такие, например, как наши голомянки. К сожалению, вопрос о магнитной и электрической чувствительности байкальской фауны, хотя уже и не сплошной, но до сих пор еще «белое пятно»!

*Фотическая*, т. е. освещенная зона Байкала, заканчивается на глубинах, близких к 500 м. Что же служит сигналом для находящихся на больших глубинах голомянок и макрогектопусов, когда они решают начать свои повторяющиеся каждые сутки вертикальные миграции? Только ли голод? Или они сверхчувствительны к свету? Ясно одно — решить эти вопросы в природных условиях можно только с помощью дистанционных методов изучения поведения животных. А биологические исследования должны быть соединены с детальным изучением среды их обитания — химических, световых и звуковых сигналов, электромагнитных полей и пр.

Наверное, было бы очень полезно понять, как и каким образом в течение миллионов лет эндемики Байкала могли приспосабливаться и успешно выживать в самых разных условиях, благодаря чему являются поучительным примером для человечества.

**РАЗБОРЧИВЫЙ ПОТРЕБИТЕЛЬ**

Свободноживущих *веслоногих ракообразных* (Сорерада) можно встретить практически в любом пресном водоеме. Они живут подо льдом антарктических озер, в горных озерах Непала, и даже в вулканическом озере на высоте 5930 м! Эти вездесущие и зачастую очень многочисленные рачки играют ключевую роль в водных экосистемах как важнейший компонент пищевых цепей.

Байкал не является в этом смысле исключением. Всего на планете насчитывается более 2000 видов пресноводных веслоногих ракообразных, при этом в озере Байкал обитают более сотни видов и подвидов. Закинув «невод», т. е. планктонную сетку, в байкальские воды, можно выловить представителей почти 20 видов. Из них истинно пелагическими (связанными только с толщей вод на протяжении всей жизни) будут считаться всего 10 видов. Остальные попадут в сеть достаточно случайно — при перемещениях из донных местообитаний или зарослей на мелководьях.

Среди всех веслоногих ракообразных Байкала феноменально известным видом является *эпишура байкальская* (*Epischura baicalensis*). Наравне со знаменитым байкальским омулем, этот эндемичный рачок стал как бы визитной карточкой Байкала, особенно если речь заходит об экологическом состоянии толщи вод. Интрига заключается в том, что эпишура считается чуть ли не главным звеном экосистемы Байкала, отвечающим за чистоту воды. Так ли на самом деле? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно поближе познакомиться с образом жизни и повадками нашего «героя».

\*\*\*

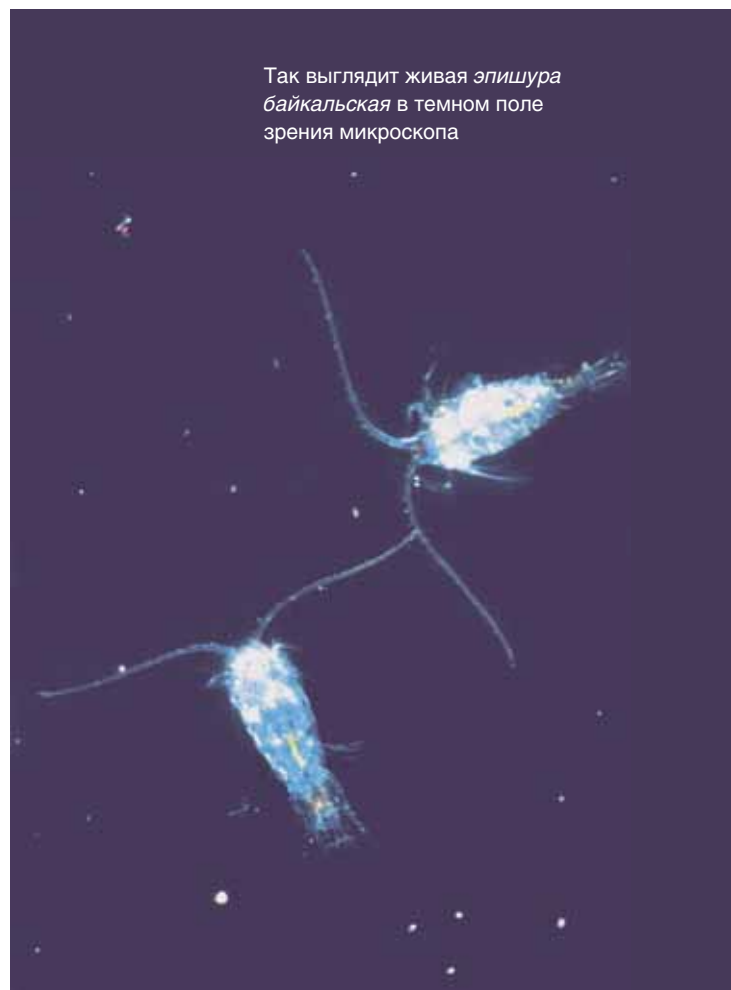
Хотя эпишура байкальская является древним реликтовым видом, она может служить современным примером очень успешного заселения водной толщи — от поверхности до самых больших глубин, отсутствуя только в более прогреваемых мелководных участках озера. Что касается внешности, то с этим у нашего рачка тоже все в порядке: длинные изящные антенны, хрустально прозрачное стройное тело, декорированное яркими желто-оранжевыми включениями (жировыми каплями). Из батискафа или при видеосъемках рачки видны в виде массы «ожившей», смешно скачущей манной крупы (так выглядят перемещения животных).

Этот многочисленный рачок во все сезоны года доминирует по биомассе среди других представителей байкальского зоопланктона. Он служит прекрасным кормом для всех пелагических рыб, а фактически — для молоди всех рыб, обитающих в прибрежной зоне озера. Эпишура является «лакомым кусочком» и для хищных пред-

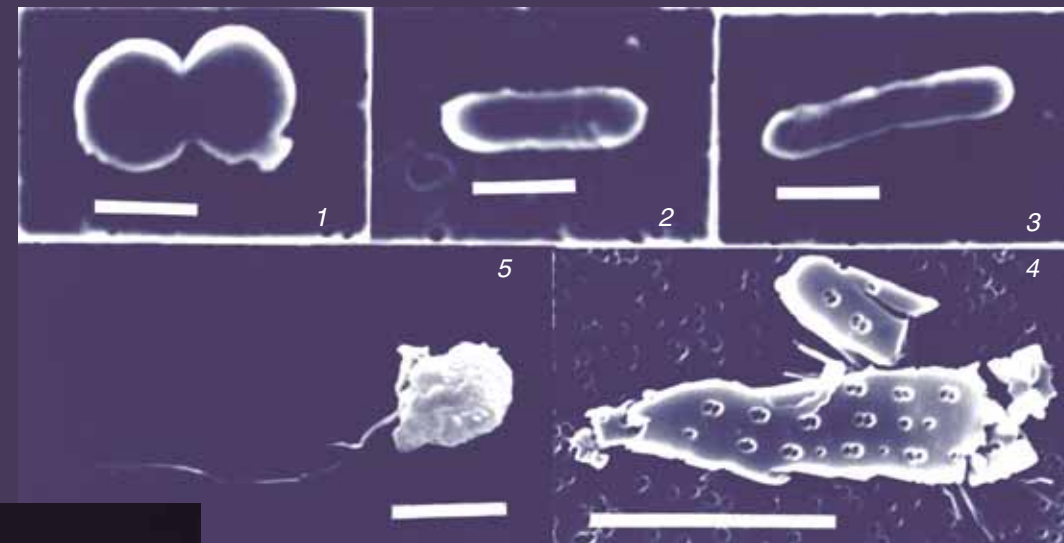
ставителей самого зоопланктона — крупных коловраток, циклопов и макрогектопусов.

Сами рачки питаются водорослями и, в меньшей степени, бактериями. Фактически это маленькая водяная «корова», пасущаяся на фитопланктонных лугах. По данным ученых, занимавшихся биотическим круговоротом в пелагиали, эпишура изымает в течение года до трети первичной продукции водорослей — основных продуцентов органического вещества. Такое положение рачков в пищевой сети и явилось, наравне с их многочисленностью, причиной распространенности мнения о ключевой роли эпишуры в обеспечении чистоты озерных вод.

По способу питания эпишура относится к фильтраторам, а ее излюбленной пищей считаются широко распространенные в Байкале диатомовые водоросли. Судя по расстоянию между волосками на ее фильтрующих ротовых конечностях, минимальные размеры частиц, которые она способна отлавливать — 0,5–2,5 мкм (Афанасьева, 1989). С использованием эпифлуоресцентного микроскопа удалось показать, что этот удивительный



Так выглядит живая эпишура байкальская в темном поле зрения микроскопа



Содержимое кишечника эпишуры (сканирующий электронный микроскоп): 1 — *Synechocystis* Sauv., 2–3 — *Synechococcus* Nag. (пикоцианобактерии); 4 — *Chrysophyta*, 5 — *Aulacoseira baicalensis*. 1–3 — шкала 1 мкм, 4 — 4 мкм, 5 — 10 мкм



Ярко-красным цветом светятся пикоцианобактерии в кишечнике рачка. Фото О. Белых

Эпишура в поле зрения светового микроскопа



вид способен потреблять байкальских крошек — пикоцианобактерий (Наумова и др., 2001). Это открытие и считается подтверждением роли эпишуры как главного «чистильщика» озера.

\*\*\*

Однако здесь существует одно важное «но». Есть у эпишуры интересное свойство, которое часто игнорируется. Она является довольно разборчивым, — если не сказать, брезгливым, — созданием: рачки не фильтруют автоматически все, что попадает на их «фильтрующее сито», отнюдь нет! Есть мнение, что растительноядные веслоногие ракообразные могут с помощью своих механо- и хеморецепторов «тестировать» каждую частицу. И только после этого решить — «есть или не есть?», отбрасывая несъедобное. Причем фильтровальный аппарат используется ими скорее для улавливания частиц, нежели просто для пассивного просеивания; поэтому спектр потребляемых частиц не определяется только лишь размером фильтровальных «ячей» (Lampert, Sommer, 1997). Возвращаясь к нашему «герою», отметим: эпишура практически не потребляет детрит, диатомеи и другие водоросли «вкушает» избирательно, а из предложенного в экспериментах спектра пикоцианобактерий выбирает далеко не все формы...

Поэтому, если говорить об очищении вод Байкала от множества различных по своей природе частиц, то будет справедливым вспомнить и о множестве других, не таких разборчивых и известных потребителей. И, прежде всего, — о простейших (жгутиковых и инфузориях), коловратках, других рачках, в конце концов, — о бактериях, разлагающих тот же детрит. Но это уже совсем другая история...



ДЛИННОКРЫЛКА,  
ЖЕЛТОКРЫЛКА, ШИРОКОЛОБКА  
И ДРУГИЕ...  
**РЫБЫ** БАЙКАЛА

Валентина СИДЕЛЕВА



СИДЕЛЕВА Валентина Григорьевна — доктор биологических наук, ихтиолог, более 20 лет проработала в Лимнологическом институте Сибирского отделения РАН (г. Иркутск), была заведующей лабораторией ихтиологии. Ныне изучает мировую фауну коттоидных рыб в Зоологическом институте РАН (г. Санкт-Петербург)

Древний и глубокий, Байкал может стать заветной мечтой любого страстного рыбака и натуралиста. Большие глубины (300–1700 м) составляют около 80 % всей площади озера. При этом воды Байкала насыщены кислородом до максимальных глубин, и рыбы в нем живут повсеместно: на дне и в толще воды. Ученых из разных стран интересуют, прежде всего, эндемичные коттоидные рыбы, которые нигде, кроме Байкала, больше не встречаются. И только на Байкале существует такой феномен, как глубоководные пресноводные рыбы.



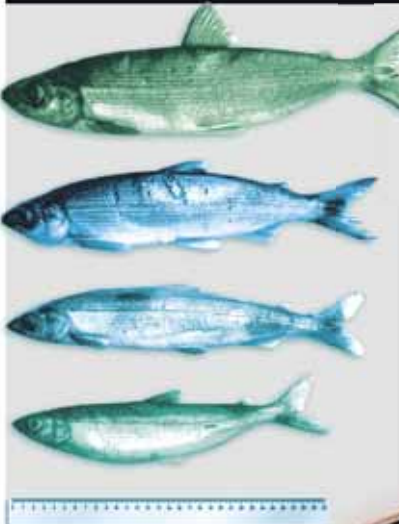
Черный байкальский хариус

бочках, и этот факт отражен в старинной песне о Байкале, где есть слова «славный корабль — омулевая бочка».

Рыбаки ловят омуль неводами и сетями, но ранней весной и летом его можно поймать и на удочку. В конце марта — начале апреля, когда на Байкале начинает ярко светить солнце, подо льдом развиваются в большом количестве водоросли и беспозвоночные животные, питающиеся ими. Сюда же мигрирует и «голодный» после зимы омуль. Вот тут-то и подстерегают его рыболовы-любители. Невзирая на то, что ледовый покров в эту пору очень непрочный, люди приезжают на машинах и, к сожалению, часто проваливаются под лед. Ну, а те рыбаки, кому повезло, получают настоящее



Черный байкальский хариус (*Thymallus baicalensis*), живет в прибрежной зоне, а мечет икру в реках, впадающих в Байкал



Байкале обитает более 60 видов и подвидов рыб, из которых 55 видов являются «аборигенами». А вот 6 видов, вселенных человеком, — для озера новые. В прибрежной зоне и в мелководных заливах озера живут рыбы, которые не только всем хорошо известны, но и обычны для других озер и рек Сибири: окунь, щука, плотва, налим, елец, щиповка, карась и др. Живут они в самом озере, но икру мечут в реках, впадающих в Байкал. Все эти рыбы промысловые. Однако наиболее ценной и знаменитой промысловой рыбой является, без сомнения, *байкальский омуль*.

Биомасса омуля в озере, подсчитанная с помощью гидроакустики, составляет более 30 тысяч тонн, а вылавливают его ежегодно всего 3 тысячи тонн, т. е. не более 10%. Местные жители едят его вареным, жареным, копченым, но особенно вкусен он в слабосоленом виде. Солят его издавна в деревянных

Знаменитый байкальский омуль — наиболее ценная промысловая рыба озера. Средние размеры омуля 30–40 см, вес 300–500 г

удовольствие: ведь в хорошие дни один человек может наловить мешок великолепного крупного омуля.

Летом, когда верхние слои воды хорошо прогреваются и насыщаются кормовыми организмами, омуль также поднимается ближе к поверхности. Ловят его на свет, для чего с корабля или лодки светят в воду прожектором. Свет привлекает различных водных беспозвоночных, которые скапливаются в световом пятне. Вслед за ними появляется и омуль. Клюет он активно, и за один раз на многокрючковую удочку можно поймать 2–3 рыбины.

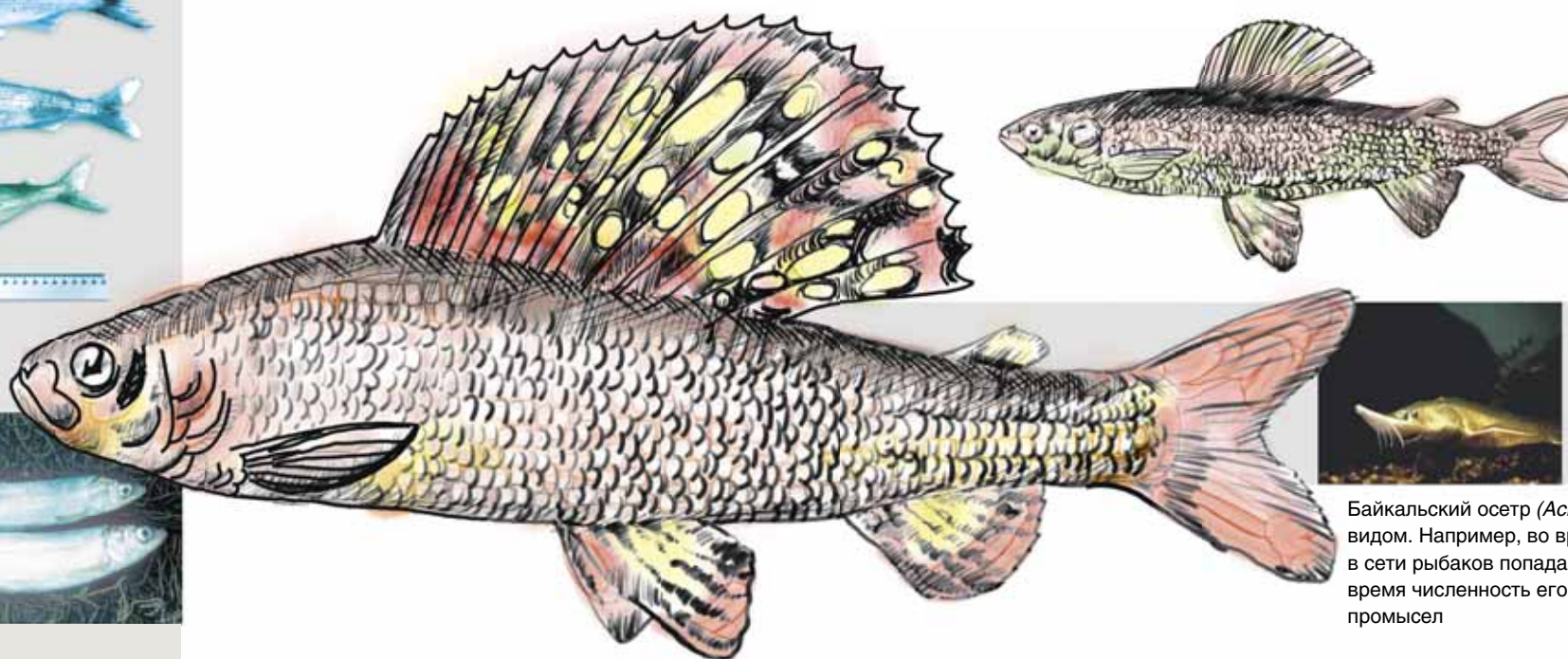
Не менее ценятся и другие промысловые рыбы — *хариусы*, которых в Байкале обитает 2 вида, и *байкальский осетр*. *Черный хариус* — приоритетный объект любительского лова. Он живет повсеместно в прибрежной зоне озера, питается донными беспозвоночными (гаммаридами, моллюсками, хирономидами и др.), а когда весной вылетают ручейники, то хариус поднимается в верхние слои воды и схватывает с поверхности насекомых. От этого по воде расходятся круги, и местные жители говорят: «Хариус *плавится*, надо рыбачить на *верховой настрой*». Это означает, что хариус плавает у поверхности воды и ловить его надо удочкой без тяжелого грузила.

Черный хариус мечет икру весной в речках с чистой водой и быстрым течением. В нерестовый период особенно красивы самцы, у которых вырастает высокий спинной плавник, украшенный рядами темно-красных точек, а по бокам жемчужно-серого туловища появляются яркие розовые пятна. Самки выглядят значительно скромнее.

*Белый хариус* обитает на больших глубинах (50–150 м), чем черный, и наиболее часто встречается в районе влияния дельты реки Селенги. У него широкое светлое туловище, передняя часть которого покрыта мелкими черными пятнышками. Он необычайно жирный и очень хорош для ухи. На удочку не ловится, а добывается сетями, изредка попадает и в донный трал.

Всем известно, что собой представляют осетровые рыбы. Обычно, как, например, в Каспии, они обитают в соленой воде, а на нерест идут в пресноводные реки. Но байкальский осетр живет и размножается исключительно в пресной воде. Созревает он позже, чем человек, — в возрасте 19–20 лет! Хотя растет осетр медленно, зато во взрослом состоянии может достигать более 1 м длины и около 70 кг веса. Но такие крупные особи встречаются крайне редко. Запасы осетра были подорваны еще во время Великой Отечественной войны, когда ловили много — не заботясь о будущем, так как люди были готовы всем пожертвовать ради победы. Из-за медленного роста и позднего созревания осетр до сих пор не восстановил свою численность. Поэтому на его промысел существует запрет.

В целом же промысловые рыбы представлены в Байкале всего 17 видами. Но большинство видов байкальских рыб (60%) составляют рыбы непромысловые. Это экзотические виды *коттоидных* рыб, эндемики Байкала.



Белый байкальский хариус (*T. brevipinnis*) имеет широкое туловище, маленькую головку и мало похож на настоящего хариуса



Байкальский осетр (*Acipenser baerii*). Когда-то был промысловым видом. Например, во времена протопопы Аввакума за одну ночь в сети рыбаков попадало до 100 крупных осетров. В настоящее время численность его мала и существует запрет на его промысел



Песчаная широколобка (*Leocottus kesslerii*). Обитает в прибрежной зоне на песчаных грунтах, при признаках опасности зарывается в песок. Кроме Байкала распространена в реке Селенге, озерах Гусино и Арахлей (бассейн Байкала), водохранилищах Ангарского каскада. У нее самая высокая плодовитость среди пресноводных коттоидных рыб (до 10000 икринок)



Каменная широколобка (*Paracottus knerii*) живет под камнями в литоральной зоне Байкала. Кроме Байкала распространена в реках, впадающих в озеро, притоках Ангары и Енисея, а также в озере Верхняя Агата

### ЭКЗОТИЧЕСКИЕ ОБИТАТЕЛИ ПРЕСНОВОДНЫХ ГЛУБИН

Предки коттоидных рыб возникли в наших дальневосточных морях. В миоцене, т. е. приблизительно 20 млн лет назад, эти рыбы начали проникать в реки, приспособившись к пресноводному образу жизни. Затем по рекам они попали в Байкал, где сначала заселили мелководье, потом — глубоководную область и даже толщу воды. В настоящее время во всех реках и озерах Евразии, включая острова Японии, живет всего лишь 14 видов коттоидных рыб, а в Байкале их 33 вида — почти в два с половиной раза больше.

Большинство (84 %) байкальских видов коттоидных рыб обитают на дне. Некоторые из них «сидят» на поверхности грунта и ни на что не реагируют. До них даже можно дотронуться рукой: только в этом случае они отскакивают на расстояние 40–80 см, снова опускаются на грунт и замирают. Некоторые виды закапываются в ил и песок так, что над поверхностью грунта видны только круглые глаза. Часто этих рыб можно встретить под камнями (поэтому их часто называют *подкаменщиками*) или в щелях и норах. Так, в 1977 г. наблюдатели с научной подводной лодки «Пайсис» на глубине 800 м увидели *красную широколобку*, которая вырыла в иле норку, забралась в нее, выставила голову вперед и напала на проплывавших мимо рачков-бокоплавов.

Донные коттоидные рыбы имеют самую разнообразную окраску. Прибрежные виды обычно окрашены в серые или серо-зеленые тона, при этом на боках туловища имеются темные пятна неправильной формы. Иногда встречаются рыбы изумрудно-зеленого цвета. По мере увеличения глубины обитания окраска рыб меняется на серую с темно-красными полосами,



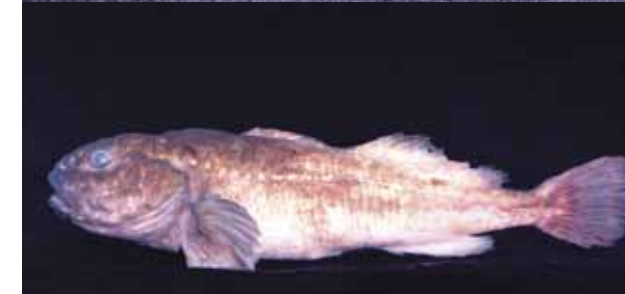
Красная широколобка (*Procottus jeittelesii*) наиболее распространена на каменистых грунтах Южного Байкала. Нерестится в феврале-марте подо льдом

Широколобка Гото (*Procottus gotoi*) попадает в сети в прибрежной зоне Южного Байкала. Нерестилища обнаружены в районе истока реки Ангары на глубинах 6–10 м. Откладывает икру в феврале-марте подо льдом. Личинки, появляющиеся в июне, хорошо сформированы, похожи на взрослую рыбку и ведут донный образ жизни. Фото Х. Мунехара

Узкая широколобка (*Limnocottus pallidus*) распространена в озере на глубинах от 100 до 1300 м. Один из самых распространенных видов. Размножается в июне-июле

Жирная широколобка (*Batrachocottus nikolskii*) распространена в озере на глубинах от 100 до 1500 м. Действительно жирная. Она может подниматься над поверхностью дна и хватать зазевавшихся голомянок: у 30 % особей жирной широколобки в содержимом желудка встречаются эти рыбки

Плоскоголовая шершавая широколобка (*Asprocottus platycephalus*) обитает в Байкале на глубинах от 50 до 1000 метров. Предпочитает песчано-илистые грунты. Все туловище этой рыбки покрыто мелкими шипиками, поэтому она шершавая на ощупь



Большая широколобка (*Procottus major*) обитает в широком диапазоне глубин — от 15 до 800 метров. Предпочитает песчаные и песчано-илистые грунты. Самая крупная среди байкальских коттоидных рыб: достигает длины более 30 см и веса до 300 г. В 1940–1950-е годы была промысловым видом. В настоящее же время численность большеголовой широколобки мала и промыслового значения она не имеет



Большеголовая широколобка (*Batrachocottus baicalensis*) — эндемик Байкала. Обитает на каменистых грунтах в прибрежной зоне озера. Нерестится в зимние месяцы подо льдом



- ◀ Глубоководная широколобка (*Asprocottus abyssalis*) обитает на больших глубинах — от 400 до 1400 м. Это маленькая рыбка, всего до 10 см длиной, встречается в уловах крайне редко
- ◀ Горбатая широколобка (*Cyphocottus megalops*) названа так потому, что у нее сразу за головой туловище круто поднимается вверх. Обычный вид на глубинах 100–600 метров
- ◀ Короткоголовая широколобка (*Cottinella bouleengeri*). Маленькая (до 15 см) рыбка, с очень крупной круглой головой, длина головы составляет более 33 % длины туловища. Обитает на больших глубинах — от 450 до 1600 метров. Предпочитает мягкие илистые грунты. Очень активная и любопытная рыбка, из-за чего часто попадает в ловушки



однотонную коричневую, розовую, оранжевую и жемчужно-серую.

Глубоководные виды обитают при постоянной температуре воды, которая в глубинах озера равна 3,5°C. При таких низких температурах растут они медленно, а размножаться начинают лишь в возрасте 6–8 лет. Икра у них крупная, оранжевого цвета. Например, *малоглазая широколобка*, рыбка длиной всего 10 см и весом около 10 г, выметывает 20–30 икринок диаметром 3,5–3,7 мм. Интересный факт: у этого вида встречаются карлики, которые созревают раньше нормальных особей — в возрасте 4 года. В этом возрасте они крошечные, длиной всего 5 мм и весом 1,3 г, и выметывают лишь от 5 до 13 икринок.

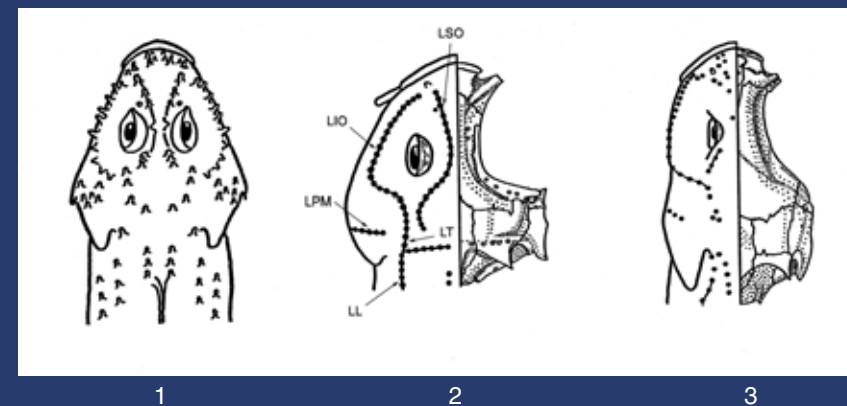
#### ТЕМНОТА + 160 АТМОСФЕР

Поскольку некоторые виды коттоидных рыб живут на больших глубинах, куда не проникает солнечный свет, возникает вопрос: каким образом они ориентируются в темноте и как находят себе пищу? У рыб помимо пяти органов чувств, как у других позвоночных животных (зрения, слуха, вкуса, обоняния, осязания), имеется и шестой. Это так называемая *сейсмосенсорная система*. Она воспринимает колебания воды, образующиеся вследствие волн, движений рыб и беспозвоночных животных.

- ◀ Малоглазая широколобка (*Abyssocottus korotneffi*) — обычная, широко распространенная рыбка, обитатель глубоководной области. У нее есть карликовые формы, которые обитают вместе с молодыми неполовозрелыми особями

Эта система обычно имеет вид каналов, открывающихся наружу специальными порами. Если внимательно посмотреть на голову и туловище рыбы, можно заметить на коже дырочки, которые и являются отверстиями системы. Внутри каналов имеются чувствительные почки (*невромасты*), к которым подходят нервные окончания, передающие информацию о частоте колебаний в мозг. Иногда дырочки-каналы могут отсутствовать, а чувствительные почки — располагаться непосредственно на коже рыбы. Большинство глубоководных донных видов рыб Байкала имеют сейсмосенсорную систему, состоящую как раз из наружных невромастов. Очевидно, что с таким строением сейсмосенсорной системы они лучше чувствуют на больших глубинах различные колебания, которые могут издавать враги, кормовые организмы или особи своего вида.

Еще один очень интересный момент: на больших глубинах на коттоидных рыб постоянно действует также и высокое гидростатическое давление, которое может достигать 160 атмосфер! Нами (совместно с американскими учеными) были проведены экспериментальные исследования в барокамерах, чтобы оценить, какое максимальное давление могут выдерживать рыбы. Оказалось, что глубоководные коттоидные рыбы могут выдерживать давление до 250 атмосфер, что значительно превышает давление воды в самой глубоководной части озера. А вот мелководные рыбы выдерживали давление лишь до 50 атмосфер, т. е. в 5 раз меньше. Эти эксперименты показали, что глубоководные рыбы сравнительно давно перешли к такому образу жизни и выработали приспособления к условиям темноты и высокого гидростатического давления.



Шестой орган чувств — сейсмосенсорная система у байкальских глубоководных коттоидных рыб: 1 — *Asprocottus Herzensteini*; 2 — *Procottus Jeittelesii*; 3 — *Abyssocottus Korotneffi*. Сейсмосенсорная система представлена наружными чувствительными почками (невромастами). У *A. Herzensteini* они сидят на кожистых папиллах, у *P. Jeittelesii* и *A. Korotneffi* — непосредственно на поверхности кожи



Длиннокрылая широколобка, или длиннокрылка (*Cottocomephorus inermis*), обитает в придонных слоях воды на глубинах до 500 м. Активно использует грудные плавники при плавании. Нерестится в феврале-марте подо льдом, откладывает икру на глубине 5–12 метров



ПРО «ЭТО» У ЖЕЛТОКРЫЛОК

Кроме донных коттоидных рыб в Байкале обитают 3 вида придонно-пелагических рыб. Часть суток эти рыбы проводят в толще воды, остальное время — на дне. Все они имеют характерные особенности внешнего облика — длинные грудные плавники, которые при плавании используются как весла. Из-за этих длинных плавников один из видов так и назван — *длиннокрылка*. Другой вид — *желтокрылка* — получил свое имя из-за ярких, лимонно-желтых грудных плавников, которые вырастают у самцов в период размножения.

Желтокрылка, как и другие донные коттоидные рыбы, откладывает икру под камни у берега, на глубинах от 40 см до 2 м. Сначала самец ищет подходящее место под камнем. Камень при этом должен быть довольно крупным, чтобы волны не могли сдвинуть его с места, и лежать на песке или мелкой гальке так, чтобы под ним обязательно была щель высотой около 4 см. Когда самец находит такой камень, он забирается под него, разгребает плавниками песок, делает в нем небольшое углубление, устраивается поудобнее и охраняет место от посягательств других самцов. Так он может просидеть несколько дней в ожидании внимания самки.

Наконец одна из проплывающих мимо самок заходит в гнездо. Самец принимается плавать вокруг нее, шевеля грудными плавниками, меняет оливково-желтый цвет головы на черный и даже начинает издавать звуки (!). Чтобы услышать эти звуки, недоступные человеческому уху, нам пришлось опустить в воду гидрофон. Наконец, ухаживания самца замечены и благосклонно приняты самкой: она готова выметать икру. Для этого самка и самец ложатся рядом вверх брюшками, самец обнимает самку грудным плавником, и самка начинает метать икру.

Одна самка желтокрылки обычно выметывает до 2000 икринок. Самец поливает икру молоками и прикрепляет ее к нижней поверхности камня. Этот процесс продолжается в течение 1–1,5 часов. После выметывания всей икры самка непродолжительное время остается в гнезде, а затем покидает его. Самец отдыхает и через пару часов уже готов к встрече со следующей самкой.

Обычно один самец желтокрылки нерестится с 2–7 самками в течение нескольких суток. Но однажды мы нашли гнездо, где находилась 21 кладка, но такие случаи чрезвычайно редки. После нереста самец-папа сторожит кладки до появления личинок. При изучении процесса размножения у желтокрылки мы поставили подводные видеокамеры вблизи гнезд, которые сторожили самцы. Интересно, что самцы-папы очень различались по поведению. Одни строго исполняли роль отца, все время охраняли кладки, обмахивали их плавниками для увеличения притока свежей воды и лучшего снабжения икры кислородом.

Другие самцы отличались весьма легкомысленным поведением: бросали гнездо надолго, куда-то уплывали и мало заботились о своих будущих детях. Третьи вообще отщипывали от кладок икринки и с удовольствием поедали их. Однако, несмотря на не совсем «порядочное» поведение некоторых самцов, выживаемость икринок в кладках очень высока и достигает 96–98%. Через некоторое время из икры вылупляются личинки, очень маленькие — 5–6 мм, но уже умеющие плавать. Первые дни они держатся вблизи берегов, а потом собираются в стайки, и водные течения разносят их по всей акватории Байкала. Они вырастут, и весь цикл повторится снова.

На фото изображен половозрелый самец желтокрылки, который сторожит кладку икры, находящуюся под соседним камнем



Желтокрылая широколобка или желтокрылка (*Cottocomephorus grewingkii*) — самец в брачном наряде. Нерест у желтокрылки бывает 3 раза в год: в марте, в мае и августе







Малая голомянка



Большая голомянка (*Comephorus baicalensis*) от малой голомянки отличается большими глазами. Эта рыбка всю жизнь проводит в толще воды. Она живородящая, личинки развиваются внутри полости тела матери, рождает она их в августе. У этого вида очень мало самцов, всего 17 % всей численности большой голомянки. Как пары находят друг друга, до сих пор не ясно. На фото: взрослая половозрелая самка большой голомянки



Большая голомянка

Малая голомянка (*Comephorus dybowski*) — самая многочисленная рыба в Байкале. Она живородящая и выметывает своих личинок-детей в феврале-марте подо льдом. В это время там появляется множество беспозвоночных животных, которых личинки малой голомянки поедают с удовольствием

### НЕ ЧИТАЙТЕ ГАЗЕТУ ЧЕРЕЗ ГОЛОМЯНКУ!

Однако, несмотря на все удивительные особенности кottoидных рыб, наиболее уникальными байкальскими рыбами следует признать *голомянок*, которые проводят в толще воды всю свою жизнь. Всего существует 2 вида голомянок: *большая* и *малая*.

У этих рыб нет обычного плавательного пузыря, который бы поддерживал их в воде. Для жизни в толще воды у них существуют различные приспособления. Например, они имеют очень тонкие, пористые кости, которые к тому же слабо минерализованы, что значительно уменьшает вес их тела. У голомянок длинные грудные и спинные плавники, которые по площади почти в два раза превышают площадь тела, брюшные же плавники вообще отсутствуют, в мышцах и полости тела содержится много жира (до 40 % веса). Во время войны местные жители жир голомянок вытапливали и использовали в пищу. Есть сведения, что он находил применение и в тибетской медицине.

Исследования автора, проведенные с помощью подводных аппаратов «Пайсис», показали, что в дневное время голомянки начинают встречаться уже на глубине 135 метров. В поле зрения наблюдателя присутствуют одиночные особи, которые «висят» в толще воды вниз головой и медленно опускаются вниз. Наибольшие скопления голомянок (когда в поле зрения находится около 20 экземпляров) встречаются вблизи дна. Что там они делают — неизвестно, но наблюдателю хорошо видно, что рыбки активно плавают в разных направлениях на расстоянии двух метров от дна.

Питаются голомянки *зоопланктоном*, т. е. мелкими рачками, для чего в ночное время суток из придонных слоев воды они мигрируют ближе к поверхности, а рано

утром снова опускаются на глубину. Эти рыбы являются живородящими, что для пресноводных рыб в наших северных широтах — исключительное явление. Оплодотворение у них внутреннее, но когда и как оно происходит — неизвестно.

Личинки развиваются в полости тела матери. Личинки у большой голомянки появляются в августе, а у малой голомянки — в феврале-марте, подо льдом. Они совершенно прозрачные, длиной около 10–12 мм, активно плавают и встречаются по всей толще воды. Их с удовольствием поедает не только омуль, но и сами взрослые голомянки, которые, в свою очередь, являются прекрасной пищей для нерпы. Доля голомянок в пищевом рационе нерпы составляет более 90 %. Можно сказать, что само появление и существование этого эндемичного тюленя в Байкале стало возможным только благодаря крошкам-голомянкам!

Хотя голомянки и невелики по размерам (малая голомянка имеет максимальную длину около 15 см, большая — около 30 см), они являются самыми массовыми рыбами озера. Их биомасса составляет 165 тыс. тонн, или 70 % массы всех рыб озера. Несмотря на большое количество, они не являются промысловыми, так как никогда не образуют крупных скоплений. В экспедиции мы тащили трал на глубине 500–700 м целых 2 часа, при этом нам удалось выловить всего около 1 кг голомянок. Иногда в сети рыбаков в осенний период может попасть до *таза* голомянок, которые почему-то в это время года по неизвестным причинам подходят довольно близко к берегам.

Вообще же об этих рыбках ходят легенды. Малая голомянка в живом состоянии настолько прозрачна, что

легко можно рассмотреть ее внутренние органы и кровеносную систему. Поэтому журналисты часто пишут, что «...сквозь голомянку можно читать газету». Как мы ни пытались в научном рвении это сделать, но разглядеть через рыбку газетный текст так и не смогли. А в мертвом состоянии она становится мутной. В некоторых публикациях также утверждается, что из-за высокого содержания жира голомянка может полностью растаять на солнце. Но самая интересная легенда бытует о процессе рождения личинок. Предполагается, что для этого голомянка резко всплывает из глубины на поверхность, от перепада давления ее брюшко лопаается и личинки выходят наружу. После этого голомянки якобы не тонут, а плавают по поверхности воды, и волны выбрасывают их на берег.

Все эти фантазии очень живучи, и время от времени их можно прочесть в очередной статье о рыбах Байкала. И это понятно — ведь почвой для них служат действительно необычный внешний облик и удивительный образ жизни уникального рыбьего населения Байкала.



В статье использованы фото Р. Ахмерова, С. Глуценко и Х. Мунехара

## ОПИСАНИЕ

# города ИРКУЦКА

## И ОКРЕСТНЫХ МЕСТНОСТЕЙ

Перевод и публикация д-ра ист. наук А. Х. ЭлERTA

Георг Вильгельм **СТЕЛЛЕР**

Георг Вильгельм Стеллер (правильнее — Штеллер)<sup>1</sup> родился 10 марта 1709 г. в г. Виндсхайм (Франкония) в семье местного кантора и органиста. После окончания в 1729 г. гимназии, куда его отдали четырех лет от роду, он поступил в Виттенбергский университет. Там, а с 1731 г. в университете

Галле, Стеллер сочетал изучение теологии с занятиями на медицинском факультете, все больше увлекаясь естественными науками, прежде всего — ботаникой и зоологией. В Галле началась его педагогическая деятельность в школе-приюте (Сиротском доме), основанном знаменитым педагогом и виднейшим представителем пиегизма А. Г. Франке. Пребывание в Галле, признанном центре пиегизма, во многом предопределило судьбу и мировоззрение Стеллера. Всю последующую жизнь он, в соответствии с философией этого протестантского течения, не только пропагандировал идеи рационализма, но и стремился активно участвовать в практическом переустройстве жизни.

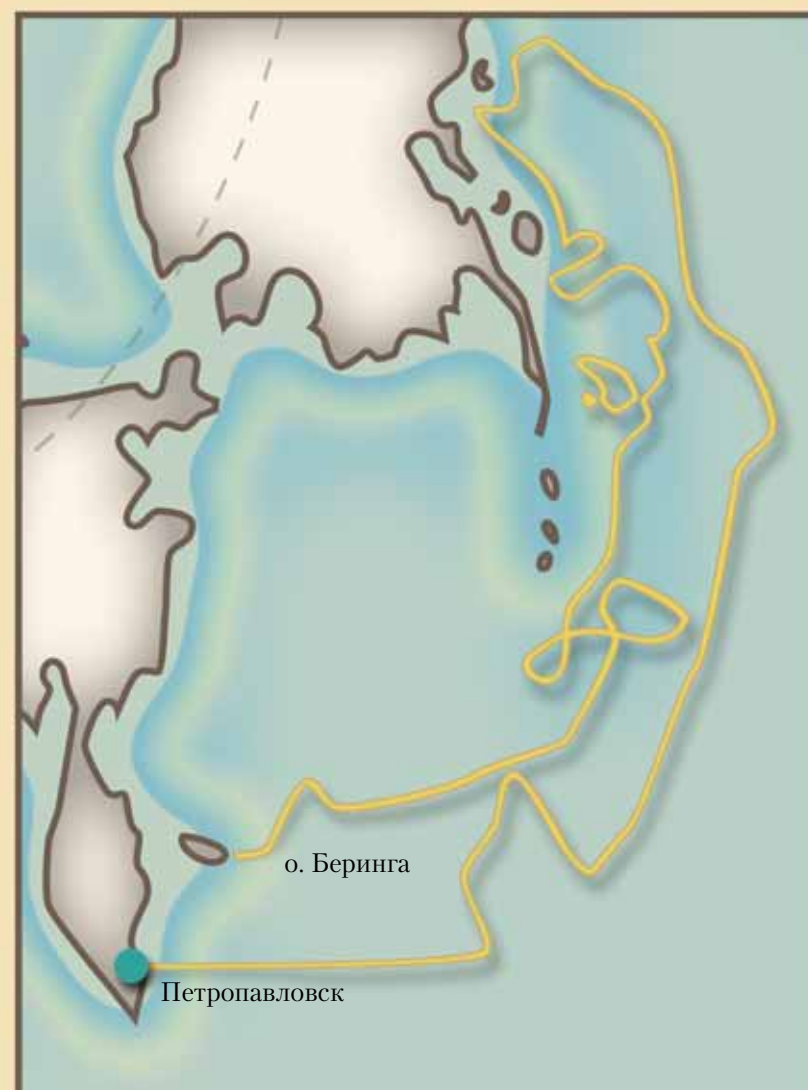
Получив блестящее образование, Стеллер, подобно многим другим немецким ученым, решил поискать счастья в России, где в 1725 г. была открыта Императорская Академия наук. Здесь Георг Стеллер стал домашним врачом у архиепископа Феофана Прокоповича — выдающегося государственного и церковного деятеля, сподвижника Петра Великого. Поддержка Феофана Прокоповича и профессора ботаники И. Аммана,

которому Стеллер помогал составлять академический гербарий, позволили молодому ученому в 1736 г. получить приглашение на службу в Академию в качестве адъюнкта натуральной истории. Уже на следующий год Стеллер по собственному желанию отправился в Сибирь для участия в работе академического отряда Второй Камчатской экспедиции.

Масса приключений, лишений, трагических событий, неустанных трудов и научных открытий, принесших автору мировую славу, уместились всего в 12 лет российской жизни Стеллера. Маршрут его путешествия из Петербурга на Камчатку (1738–1740 гг.) прошел через Казань, Тобольск, Томск, Енисейск, Иркутск, Забайкалье, Якутск и Охотск. На пакетботе «Святой Петр», которым командовал Витус Беринг, Стеллер в 1741 г. достиг берегов Северной Америки и был первым европейским ученым, ступившим на землю Аляски (точнее, на землю острова Кадьяк близ ее берегов) и описавшим ее. Вернувшись в 1742 году по окончании полной испытаний и трагически завершившейся экспедиции на материк, он продолжил научную работу на Камчатке

и на Курильских островах. Результаты исследований он обобщил в знаменитом труде «Описание земли Камчатки», впервые полностью изданном на русском языке (сразу в двух разных переводах!) лишь в 1999 году.

Резкая критика Стеллером действий властей по отношению к аборигенам Камчатки и самовольное освобождение из-под стражи ительменов, по его убеждению, несправедливо обвиненных в бунте и измене, привели к тому, что в 1745 г. ученый оказался под следствием. И хотя в Иркутске Стеллера оправдали, разрешив вернуться в Петербург, в Соликамске летом 1746 г., по приказу из Петербурга (известие об оправдании ученого не успело дойти до столицы) его снова арестовали и под конвоем отправили обратно в Иркутск. Когда в октябре 1746 г. недоразумение все-таки разъяснилось, приказ об аресте был отменен. Известие об этом догнало Стеллера в Таре. Получив свободу, он вновь устремился в столицу, но... добрался лишь до Тюмени, где умер в ноябре 1746 г.



Вторая Камчатская экспедиция под руководством Витуса Беринга

ЭЛЕРТ Александр Христианович — доктор исторических наук, специалист в области дешифровки, переводов и исследования рукописей XVII—XVIII вв. Основное направление исследований — академические путешествия по Сибири XVIII в.

1. Как «Стеллер» ученый стал подписываться в России. Такое написание и утвердилось в русскоязычных текстах.



Города, через которые лежал путь Г. В. Стеллера во время путешествия по Сибири:

1 — Тобольск;	6 — Кяхта;
2 — Тара;	7 — Нерчинск;
3 — Нарым;	8 — Якутск;
4 — Енисейск;	9 — Охотск;
5 — Иркутск;	10 — Петропавловск

Путевые дневники и ряд других экспедиционных работ Стеллера до недавнего времени не публиковались и были практически недоступны исследователям. С начала 1990-х гг. совместными усилиями немецких, российских и датских ученых осуществляется масштабный проект по изучению и публикации научного наследия участников Второй Камчатской экспедиции и, в первую очередь, — Г. В. Стеллера. Топографическому описанию Байкала, Прибайкалья и Забайкалья, характеристике флоры, фауны и минералов этого региона, анализу образа жизни местного населения посвящен целый ряд научных работ Стеллера. Среди них выделяется фундаментальное исследование «Иркутская флора», высоко оцениваемое современными ботаниками. Ниже мы публикуем фрагмент работы «Описание города Иркутска и окрестных местностей»<sup>2</sup>, написанной Стеллером во время пребывания в Иркутске (с выездами в близлежащие районы и в Забайкалье) с весны 1739 г. до весны 1740 г. Эта работа недавно издана на немецком языке в серии «Источники по истории Сибири и Аляски из российских архивов». В настоящее время ее перевод готовится к публикации в русскоязычной версии указанной серии.

Стеллер был необыкновенно цельным человеком, поэтому все его произведения так или иначе перекликаются друг с другом, коль речь заходит о фундаментальных идеях, занимавших ученого. Один раз сформулировав какую-то закономерность, он в дальнейших своих изысканиях ищет ей подтверждения, не забывая при этом оговорить и исключения из правила.

Приведем пример. Публикуемый отрывок начинается с мысли Стеллера о влиянии природных факторов на образ жизни и нравы людей. Во время путешествия в 1740 г. из Иркутска в Якутск ученый обнаружил немало доказательств в пользу этого утверждения.

Очевидные симпатии вызвало у Стеллера сибирское крестьянство, поразившее его отменным физическим состоянием, своими неколебимыми моральными устоями и трудолюбием. Все это, к слову, как нельзя лучше укладывалось в близкие его сердцу идеалы протестантизма. По оценке путешественника, жители русских деревень по р. Лене были более зажиточны, чем те, кто жил в более благоприятных климатических условиях, отличались многодетностью, прекрасным здоровьем и долголетием (ученому довелось беседовать с двумя стариками-крестьянами, одному из которых было 116, а другому 137 лет). Ученый объяснял это органической привычкой к труду. С заметным удовольствием он отмечал эту привычку, когда рассказывал о женщинах и детях: «Здесь не увидишь ни одного дома, где бы не изготовляли из пряденой конопли мешки, не ткали рубахи, штаны и полотно... Здесь же можно заметить, как женщины из-за нехватки покосов собирают в лесу траву на немецкий манер... Нередко видишь, как женщины и дети 8–10 лет выполняют работу подводчиков, чтобы взрослые могли заниматься домашними работами и промыслом». Сравнивая эту сельскую картину с городскими нравами, Стеллер тут же впадает в ироничный тон (для него, впрочем, характерный): «В Иркутске, напротив, когда чай и щи готовы, все женщины лежат друг подле друга на печи как колбаски и коптят свои задницы, чтобы они не развалились и не загнили от чрезмерного распутства...».

2. Этот фрагмент публикуется с незначительными сокращениями. Логику общего повествования они не нарушают, поэтому мы их в тексте не отмечаем.

Позднее, уже вдоволь побродив по суровейшему в природном отношении русскому Северо-Востоку, исследователь вынужден был признать, что его «общее правило» работает не всегда. О местных служилых и «якутских обывателях» он пишет, что они «по своей злобности, невероятному коварству, обману, притворству и жестокости настолько же отличаются от прочих жителей Сибири и коренных русских, насколько змеи от голубей». Объяснял это Стеллер бесконтрольностью служилых в удаленных острогах и зимовьях и, в немалой степени, их социальной маргинальностью. По его мнению, тут собирались отбросы общества — «либо искатели приключений, либо бежавшие от правосудия, либо сосланные сюда из России за совершение всевозможных неблагоприятных дел, для которых эти люди были самым подходящим элементом».

Многие наблюдения Стеллера выглядят удивительно актуальными. Это касается не только таких явных аналогий, как роль «новых русских» и «капиталистов» (определения Стеллера) в развитии сибирской экономики. Падение уровня рождаемости в городах; нравственная распущенность и распространение венерических заболеваний; плохая работа полиции, с разрастанием аппарата которой парадоксальным образом растет и

количество преступлений; подрыв государственных финансов «теневой экономикой» (в сфере винокурения и торговли); хищническое истребление природных ресурсов — все это (и это еще не полный список!) чрезвычайно занимает ученого, а мысли, высказанные им по этому поводу, словно списаны из сегодняшних газет.

Обращение к биографии Стеллера лишний раз показывает, что сложившееся представление о «настоящем немце-ученом» не всегда приложимо к конкретным личностям (на то они и личности!). Глубокая образованность, профессионализм, трудолюбие, традиционная немецкая точность и аккуратность в исследованиях сочетались в этом человеке с бурным темпераментом и неумной энергией, неприветливостью в быту, готовностью противостоять невзгодам и опасностям, подлинной демократичностью и непримиримостью ко всем проявлениям несправедливости.

Надо признать, что это именно те качества, по которым тоскует наше — не самое благополучное — время. И в этой тоске оно нередко обращает свои взоры назад, в прошлое. Что ж, дело небесполезное. Публикуя Стеллера, мы, помимо всего прочего, занимаемся и этим делом.

Стеллерова Арка. Остров Беринга.  
Фото Я. Оелкера



Тобольск



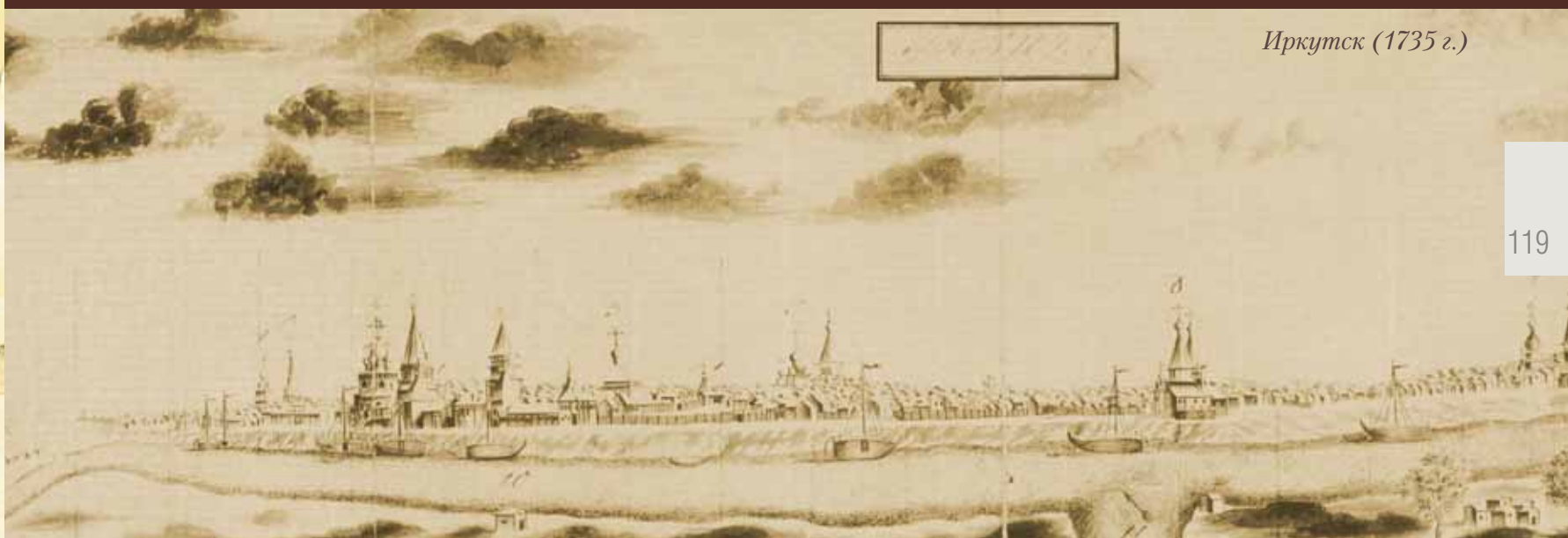
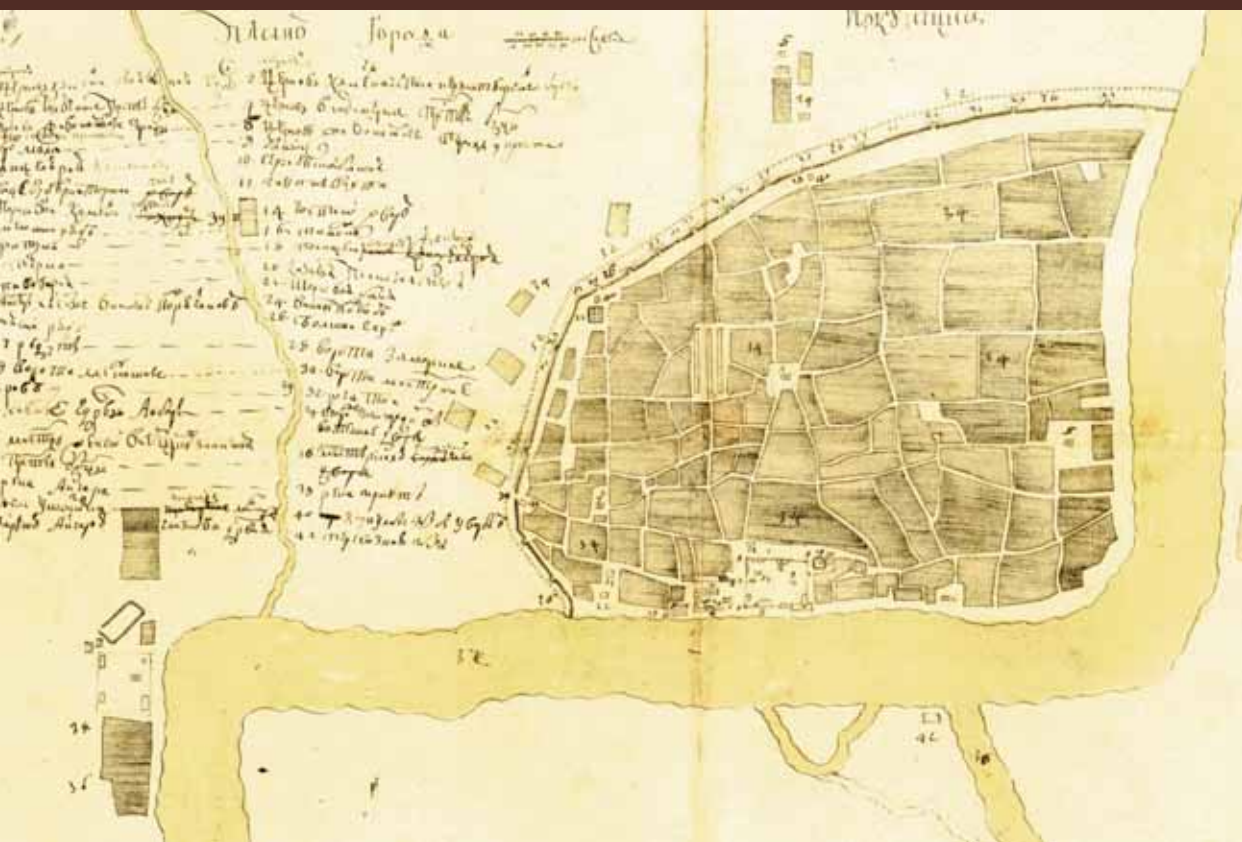
## «ИРКУЦКИЕ

## НРАВЫ И ОБРАЗ ЖИЗНИ»

Название этой северной или северо-восточной части Азии [Сибирь]<sup>1</sup> столь общо и неопределенно, что было бы нелепо сводить под одним названием всех находящихся в ней жителей вместе с их нравами и обычаями. Различный климат отчасти изменяет и отчасти принуждает изменять нравы и обычаи. Так же и относительно животных мы обнаруживаем, что в одном месте они хитрее и усерднее, чем в другом: хитрее там, где их пища более редка, и для удовлетворения аппетита требуется больше сообразительности и усердия. Все дикие звери в здешних местностях — рогатые животные, медведи, волки, лисицы — обеспечивают себя пропитанием на зиму. В особенности же различаются собаки: чем севернее они находятся и чем большим нагрузкам подвергаются из-за отсутствия лошадей, тем более смышленными они оказываются на охоте и тем лучше помнят дорогу на дальние расстояния. Из всех происшествий, связанных с собаками и их местным использованием, можно было бы сочинить полную собачью историю — и весьма полезную, потому что отдельные рассказы об азиатских собачьих должностях до сих пор еще кажутся европейским писателям совершенно невероятными.

1. В квадратные скобки заключены поясняющие и дополняющие текст слова, добавленные переводчиком. — Ред.

План г. Иркутска (1739 г.)



Вслед за климатом многое изменяет соседство. Общение с чужаками и торговля, заставляющая сравнивать качество товаров, делают народ более или менее высокомерным. Это знают и сами сибиряки, поэтому провинциальные города или местности у них получили от жителей других мест шуточные прозвища в соответствии с их основными качествами. Так, к примеру, томичи из-за их грубой спеси, которую им приписывают проезжающие, называются булгыги; енисейцы — сквозники, то есть хитрые; иркутяне — иваны, из-за их торговли и немалой политической гордыни в противопоставлении себя томичам. И таким образом в Сибири не пропущено ни одно место, которое не получило бы своего особенного наименования. Это доказывает, что образ жизни жителей значительно различается: он один в Тобольске, другой — в Томске или Енисейске, третий — в Иркутске...

О последнем я сейчас и хочу особо повести речь.

То, что замечается в истории европейских стран, имеет место и здесь, в Азии, а именно — чем решительней народ отказывается от своих старых нравов и обычаев, тем больше он страдает подражательностью, что не всегда действительно вызвано необходимостью. Иркутск, который ведет свое начало от потомков мужественных стрельцов, постепенно воспринял не только немецкую одежду, пищу и напитки, но соединил это еще и с китайской заносчивостью.

Этот город построен возле слияния двух рек на третьей. Первая из них [Ангара] вытекает из большого озера [Байкал], вторая [Иркут] собирается сюда из диких гористых местностей, а третья [Ушаковка], едва заслуживающая упоминания, получила свое название

от фамилии мельника, жившего здесь. Происхождение и развитие этого населенного пункта лучше всего характеризует то, что основан он казаками в виде зимовья, разросшегося со временем в село. А в город оно было превращено усилиями ссыльных, посланных в величайшей спешке из Москвы и со всего государства. Буряты, как коренные жители, вряд ли заслуживают отдельного рассмотрения — их тут совсем немного, и живут они в юртах рядом с городом.

Итак, в городе имеются жители трех сортов: сибиряки, ссыльные, или новые русские, и братья, или буряты. К жителям, однако, могут быть причислены еще и промышленные. Они пришли из самых бедных местностей России — с целью обогатиться сравнительно со своим прежним состоянием, но многие из них поселяются здесь насовсем. Старых енисейских и красноярских казаков сейчас, вероятно, осталось очень мало, так как, когда город вырос, они почти все отправились в остроги вокруг Байкала — Баргузинский и Идинский, а из них — далее, поскольку из-за множества ссыльных в этих местах они уже больше не были нужны в качестве стражей. Есть несколько семей русских купцов, переселившихся сюда добровольно, — таких, как Милютины и Бречаловы. Большинство же купцов происходит из ссыльных. Нынче они самые состоятельные люди и ни в малейшей степени не мечтают о непокорности. Более того, они краснеют при одном лишь слове «стрельцы». Из них и состоит посад, равно как и из казаков, или, как их сейчас называют, служивых, используемых для государственной службы и в военное, и в мирное время. Они, однако, предпочитают быть занятыми там, где есть возможность попутно торговать и наживаться. Служивые

получают из казны жалованье деньгами и провиантом, но с этим дело обстоит следующим образом.

Некоторые не только не берут ни денег, ни провианта, но еще и сами платят за то, чтобы стать ясашниками или быть посланными с казной в Россию, ибо при этом они могут иметь побочный доход от торговли. Самые бедные получают деньги и провиант и назначаются на самые тяжелые службы — в настоящее время, например, их направляют в Охоцк и на Камчатку в качестве работников и плотников. Другие получают от канцелярии кусок земли, строят там заимки, дома и дворы, держат много скота, занимаются хлебопашеством, торгуют с бурятами и чувствуют себя довольно хорошо. Торговцев казна тоже награждает местностями, чтобы они строили там дома и дворы. Из этих построек со временем вырастают деревни и, наконец, слободы. Большинство слобод вокруг Иркутска имеет подобное происхождение. Деньги за землю они уплачивают в казну сразу.

Промышленные являются выходцами из всех городов России и Сибири, но большинство из них со времени прекращения торговли в Архангельске прибыло из Архангельской провинции и городов Устюг, Вологда, Соль Вычегодская, Яренск, а также из городов Арзамас, Ярославль и Рязань. В России их называют булаками и гулящими, но здесь они безосновательно получили название «промышленные». Они могут заниматься всем, чем хотят, тогда как прежде это название прилагалось лишь к тем, кто ходил компаниями на соболиный, лисий, бобрый и песцовый промыслы, на рыбную ловлю или занимался торговлей и поставлял купцам слюду и тому подобные вещи.

Промышленные бывают двоякого рода. Некоторые отправились сюда по собственному желанию с добрым намерением сколько-нибудь заработать, чтобы затем вернуться в Россию, купить имущество и жить подобно порядочным людям. Это государственные, посадские и крестьяне или разного рода ремесленники. В канцеляриях тех мест, откуда они родом, эти люди берут паспорта на срок от 3 до 6 лет. Во всех городах паспорта подписываются воеводами в форме характеристики поведения их владельцев. А прибывают они сюда большей частью с купцами, нанимаясь к ним на суда работными людьми. Или они служат где-то, начинают торговать, двигаются от одного пункта к другому и так добираются постепенно до этих мест. В Иркутске или в других городах они предъявляют паспорт в канцелярию, где его также подписывают, а посадские несут его еще и в ратушу<sup>2</sup>. Обосновавшись здесь, они занимаются разнообразными промыслами.

Так, некоторые плывут на дощаниках для рыбной ловли на озеро Байкал, а в особенности — к устью реки Баргузин, к реке Чивиркуй в 50 верстах от Баргузина, и еще — к реке Верхняя Ангара. Однако сейчас к Верхней

2. В России того времени орган городского самоуправления. — Ред.

3. Русская сажень немногим превышает два метра. — Ред.

4. Имеется в виду русско-турецкая война 1735—1739 гг., которая велась Россией (в союзе с Австрией) за выход к Черному морю. — Ред.

Ангаре никто больше не отваживается идти, так как тамошние тунгусы более дерзко, чем где-либо, отбирают у промышленных рыбу, а при сопротивлении убивают, что они делали неоднократно.

Отправляясь на промыслы, промышленные соединяются по 14—15 человек, договариваются между собой и собирают в складчину деньги, обычно по 50 рублей с человека. На эти деньги покупают дощаник, боковой парус, мачту и снасти, что вместе с неводом, то есть рыбачьей сетью длиной от 130 до 150 сажений<sup>3</sup>, обходится в сумму около 500 рублей. Затем они посещают канцелярию и покорнейше просят об указе, с тем, чтобы приказчики не мешали их работе. В указе говорится, что промысел правильно оформлен в ратуше и за невод уплачено 7 рублей. Далее канцелярия извещает тамошнюю о том, какое место отведено им для промысла, так как по возвращении промышленные предъявляют свою рыбу на заставе и дают все осмотреть, чтобы было видно, не ввозят ли они какие-нибудь товары под видом рыбы. После этого они уплачивают в таможене десятину от цены, установленной ценовальниками. Когда промышленные все уладили, они закупают соль, провиант, мясо, всевозможную домашнюю утварь и в Николин день отплывают вверх по Ангаре на Байкал. Бочки они везут с собой в виде клепок и сбивают их возле устья. Там они строят себе зимовье, баню, навес, под которым засаливают рыбу и чинят невод, и каркас для его сушки. Дощаник же оставляют стоять на якоре, а рыбу ловят на двух лодках.

Все люди разделяются по следующим должностям. Передовщик, или предводитель, не платит денег в складчину и является главным среди них. Он знает дорогу на озеро и предупреждает о ее опасностях, определяет места стоянок, а также места, удобные для рыбной ловли. Передовщик должен уметь забрасывать, выбирать и чинить невод. Наряду с этим, он отдает распоряжение относительно того, в какое время ехать рыбачить.

Еще есть бочкарь. Он всю зиму изготавливает бочки, а затем сбивает их. За это он ничего не вкладывает в артель, но и получает лишь половинную долю. Другую половину доли получает повар. Повар к определенному времени и в предписанном ему порядке готовит



еду, варит квас, печет хлеб, забивает скотину и засаливает мясо, доставляет соль, подносит к столу пищу и прислуживает артели. Он тоже не платит в складчину и тоже не участвует ни в каких [общих] работах.

Остальные 11 артельщиков, которые внесли в артель по 50 рублей своих денег, разделяются между собой так, чтобы на озере по несколько человек попеременно стоять у руля. А передовщик спереди, с носа, командует «направо» и «налево». На суше же они работают все вместе. Между собой артельщики живут очень мирно, полюбовно улаживают возникающие ссоры, взаимно дружелюбны и учтивы. Когда они обедают, то перед этим благоговейно молятся. За столом же не ведется никаких разговоров и стоит такая тишина, как в столовой Сиротского дома в Галле. После обеда артельщики повторно молятся и снова отправляются работать. Бесшабашных голов они совсем не принимают в артель или выгоняют из нее, поскольку, как они говорят, беспорядок может рассердить божество озера. Еда и питье у них очень хороши и в избытке. Особенное удовольствие им доставляет то, что ими никто не командует, и они сами себе господа.

В конце августа артельщики возвращаются, груженные осетрами, сигадами и омулями. Осетров промышленные ловят всегда. Ради них они сначала специально отправляются к реке Чивиркуй, а уж в половине августа приходит время для омуля. Раньше осетров было очень много, и остальную рыбу просто не брали. Но теперь осетр стал столь редок, что промышленные благодарят Бога и за омуля. В прежние времена возле острова Ольхон они за одну тоню добывали по 60 бочек осетров, сейчас же до прихода омуля вся артель едва получает 7 полных бочек. Ловят и сигады, а когда поднимаются омули, они

добывают их за одну тоню по 10—13 бочек. Затем, в начале сентября, промышленные обычно возвращаются в Иркутск со следующим грузом: 7 бочек осетров, 25 бочек сигадов, 100 бочек омулей. В одну бочку помещается от 1000 до 1100 омулей. Бочка омулей стоит в среднем 3 рубля, наименьшая цена — полтора рубля. Бочка сигадов стоит 7 рублей, наименьшая цена — 5 рублей. Бочка осетров стоит 17 рублей, наименьшая цена — 13 рублей. Из всего этого складывается сумма в 594 рубля, что составляет 42 рубля на человека.

Зимой артельщики живут в зимовье — хотя и не так богато, как во время промысла, но все же ни в чем не испытывая нужды. Поскольку они живут артелью, то питание за 9 месяцев обходится им не более, чем по 5 рублей на человека. Затрудняет их жизнь то, что иногда их дощаники забирают для государевой службы в качестве провиантских транспортов и гоняют эти дощаники на ярмарки с одного места на другое. Да и самих артельщиков часто отправляют на бесплатные работы, что они, впрочем, сносят с величайшей покорностью — по крайней мере, пока продолжается война<sup>4</sup> и действителен указ об их возвращении в Россию.

Прежде, после внесения неводных денег, промысел был свободным у Селенги, у Прорвы возле Посольского монастыря, у Баргузина, Чивиркуя, вокруг Ольхонских Ворот и всюду вокруг Байкала. Но сейчас промысел селенгинского омуля запрещен указом Иркутской губернии

ской канцелярии. Это сделано по просьбе господина бригадира Бухгольца в Селенгинске, обоснованной тем, что рыба возле устья Селенги частично вылавливается и частично отгоняется, после чего уже не поднимается по Селенге, и тамошние жители таким образом лишаются улова, впадая в нужду. С Прорвы промышленных согнал Посольский монастырь и закрепил здешнюю рыбную ловлю исключительно за собой. Ольхон промышленные оставили сами. Уже несколько лет как осетры больше не держатся там, уйдя к Селенге.

Зимой некоторые промышленные выполняют знакомые им службы в монастырях или работают срочниками у крестьян.

О нерпичьем, втором промысле ниже последует более подробный рассказ.

Третий промысел — звериный, в том числе и соболиный. Об этом подробнейшим образом сообщает господин доктор Гмелин.

Четвертый промысел — слюдяной, вверх по Витиму. Все обстоятельства выполнения канцелярских формальностей тут одинаковы с рыбным промыслом.

Некоторые промышленные торгуют различными товарами от себя или приказчиками от купцов, и многие, ставшие сейчас богатыми, купцы именно так достигли своего благополучия.

Другие промышленные железо и плавят его, уплачивая десятину в казну, — как, например, в Каменке вниз по Ангаре, раньше на Ушаковке, на Бугульдеихе и на Анге. Последние промыслы сейчас построены как заводы и взяты в собственность Афанасием Дементьевым и Ланиным.

Те, которые не умеют прокормиться торговлей и работают срочниками у крестьян, обычно получают, наряду с пропитанием, по 20–24 рубля в год.

Еще назовем зимовщиков на незаселенных трактах — например, по дорогам на Енисейск и на Лену. Они варят пиво, заготавливают сено, держат хлеб и соленую рыбу.

Часть промышленных работает на каштаках<sup>5</sup> Ее количества дровосеками и винокурами.

Почти все ремесленники в Иркутске — промышленные. Иногда трудно определить, в Москве или в Иркутске выполнена работа золотых и серебряных дел мастеров по литью, ковке, чеканке и гравировке. Они изготавливают даже математические инструменты — квадранты, астролябии, циркули, — и так умело, что скорее можно было бы предположить, что они сделаны в Англии, нежели в Сибири русскими. Гранильщики, токари по дереву, железу, серебру, рогу и кости, мастера медного литья, проволочники, пуговичники (как по золоту и серебру, так и по шелку, хотя последнее считается женской работой), кузнецы, слесари, жестянщики — в основном из промышленных. Суконная фабрика вместе с красильней имеется возле реки Белой

5. Здесь: небольшой винокурный завод. — Ред.

6. Камка — шелковая китайская ткань с разводами. — Ред.

на Тельме и в Иркутске. В предыдущий список следует добавить портных, не уступающих в своем ремесле петербургским собратям, сапожников, вышивальщиков, художников, скульпторов, которые вырезают и расписывают прекраснейшие французские украшения на зданиях, шорников, игольников, а с недавнего времени — и мастера по изготовлению париков. И еще — мастеров по изготовлению холодного оружия, медников, оловянщиков, гребенщиков, ткачей тафтяных и камчатых<sup>6</sup> тканей.

Нельзя, правда, не признать, что под названием «промышленные» имеется много и таких людей, которые не желают ни учиться ремеслу, ни работать, потому что еще раньше, бывши на Волге, приохотились к воровству и убийствам. Потом они переселились в Сибирь, где пребывают без паспортов и заметно снижают столь восхваляемую обычно безопасность здешних городов. Они бездомны и стараются схорониться от чужих глаз, ибо опасаются, что у них потребуют паспорта, которые либо просрочены, либо вовсе отсутствуют. Впрочем, есть все основания полагать, что эта сорная трава будет полностью искоренена посредством нынешних строгих розысков и указов, требующих провести тщательное обследование паспортов.

Вообще же, говоря о качествах, присущих промышленным, необходимо выделить следующие:

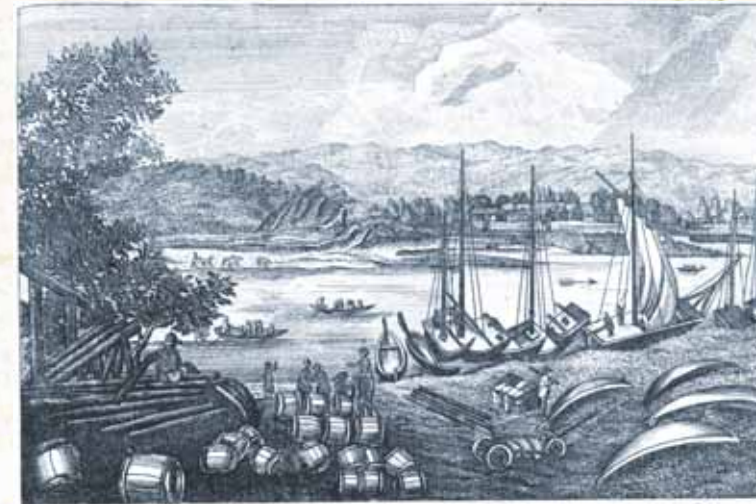
1. Они очень трудолюбивы, и с удовольствием видишь, с какой сноровкой и с какой энергией они принимаются за свою работу, почему и работают втрое быстрее, чем ленивые сибиряки.

2. Промышленные высоко ценят себя и свои умения, чему способствует то, что все местное стоит вдвое дороже, чем сделанное в Москве.

3. Они содержат, снабжают и охраняют Иркутск, поскольку являются рыбаками, крестьянами, ремесленниками, а по первому знаку становятся хорошими солдатами и до сегодняшнего времени составляют местный русский гарнизон.

4. Промышленные наносят вред Иркутску тем, что не могут жениться; это приводит к повсеместному распространению распутства и умножению заболеваний сифилисом.

(G. W. Steller, S. Krašeninnikov, J. E. Fischer. Reisetagebucher 1735 bis 1743. — Halle, 2000. — S. 28–36).



Вид в Иркутске через Ангару на Запад с приближением, где наиболее купеческие суда нагружаются и выгружаются.



Вид с гор на правом берегу Ангары в 15 верстах ниже Иркутска.

© Justus Perthes Verlag Gotha, 1996

# ИДУЩИЙ ЗА ГОРИЗОНТ, ИЛИ

## МОЛИТВА

### О ПРЕОДОЛЕНИИ

Александр ПАНФИЛОВ

#### ЖИЗНЬ И СУДЬБА ГЕОРГА ВИЛЬГЕЛЬМА СТЕЛЛЕРА

**Ж**изнь Стеллера просится в роман. Странно, что такой роман до сих пор не написан. Дело, быть может, в том, что Стеллер-ученый и Стеллер-человек долгое время у нас (да и не только у нас, по большому счету) находился в забвении, и лишь в последние пятнадцать лет один за другим появляются переводы его работ, уточняя роль и место Стеллера в истории русской и мировой науки и стимулируя интерес к личности ученого. Этим интересом и вызвано увеличивающееся на глазах количество публикаций о его жизни. Жизни удивительной — трагической и прекрасной.

Что там говорить — величина ученого не всегда соотносится с величиной человека. В случае Стеллера совпадение полнейшее, а если добавить к этому еще и по-хорошему авантюрный характер его странствий, то мысль о романе приходит на ум сама собой.

Труды и дни Стеллера — роман по определению. Мы найдем в нем эпос частной жизни, переплетение множества автономных сюжетных линий (всякая остановка Стеллера в его путешествии суть такая линия) с целым рядом оригинальных действующих лиц. А объединяет все это в гармоническое целое то, самое главное, без чего не обойтись роману, претендующему на «вечность», — это серьезнейшая сверх-идея, переносящая нас с грешной земли в запредельные выси. Под таковой мы разумеем столкновение двух мощных сил, которое можно обозначить привычным для русского уха противопоставлением «жизнь и судьба».

Природа одарила Стеллера многим: отменным здоровьем, многими талантами, легким нравом, железной волей. Казалось бы, приспособь все это к условиям тогдашней жизни и горя не знай: занимайся наукой, издавай книги, воспитывай учеников, скромно носи бремя славы, доживай жизнь седовласым старцем в достатке и почете. Более того, возможностей для этого, если вздуматься, у Стеллера было предостаточно. Ни одной из них он не воспользовался. Сгорел, как комета, исходив полземли и не увидев ни одной своей напечатанной строки — страшная, вообще-то говоря, доля для

ученого. И всей жизни его было отпущено 37 лет (мы специально обращаем внимание читателя на эту цифру, она — многозначительная). Слишком часто эта цифра встречается, когда мы говорим о необыкновенных людях, она озарена мистическим светом и заставляет вспомнить о судьбе, о высшем предназначении. Именно «судьба» Стеллера ломала его «жизнь», отставляя в сторону все соблазны спокойного и размеренного существования, которыми последняя манила.

Но, все по порядку.

Курс ботаники в Сиротском доме в Галле, где молодой Стеллер подрабатывал в качестве педагога (кстати, популярного в среде учащихся), курировал один из лучших европейских медиков того времени профессор Ф. Хофман. Хофман протезировал Стеллеру, увидев в нем великие способности к науке. По его настоянию, Стеллер блестяще сдает квалификационные экзамены по ботанике в Берлине, претендуя на место профессора ботаники в университете в Галле. Отметим существенное — эти экзамены ему пришлось сдавать, потому что сам-то он — и в Виттенберге, и в Галле — учился на теологическом факультете, занимаясь естественными науками попутно, как бы в порыве молодой души, которой все интересно на этом свете: и оправдание Бога, и основания религиозной жизни, и устройство человеческих внутренних органов. По сути-то, тут нет никаких внутренних разрывов и оппозиций: у человека начала XVIII века (тем более, воспитанного в протестантской традиции) гармония и всеединство мира не вызывали сомнений. Другое дело, что любопытство к внешним (скажем так — естественнонаучным) проявлениям Божественного откровения пересилило в молодом Стеллере интерес к собственно их источнику, и это предопределило всю его жизнь. Ф. Хофман, со своей стороны, пытался убедить короля Фридриха Вильгельма в том, что профессор ботаники университету нужен, как воздух, и что есть прекрасная во всех отношениях кандидатура на эту должность, имея в виду Стеллера. Подробности этой истории неизвестны — известно лишь, что король не согласился с доводами Хофмана.

И тут Стеллер делает резкое движение, вместо того, чтобы спокойно дожидаться новой открывающейся вакансии. Наверняка она бы рано или поздно открылась, ведь обычно жизнь, желая человеку тихого добра, подталкивает к этому. Но резкие движения, в конце концов, станут обычными для Стеллера, формируя совершенно определенный стиль жизни. Стиль преодоления, стиль стремления туда, куда нормальный человек по своей воле никогда бы не устремился. Из множества вариантов, предлагаемых днем насущным, он всегда выбирал самые трудные. Но и самые увлекательные.

Итак, в 1734 году Стеллер покидает Галле и на свой страх и риск отправляется пешком в Данциг, где тогда стояла русская армия. Мотивировка проста — в Петербурге не так давно открылась Академия наук, и там чье-то место профессора ботаники будет получить значительно проще, нежели в напичканной учеными людьми Германии. А так как денег нет, то удобнее всего проникнуть в Россию, найдя себе применение — в качестве врача — в русской армии. Вроде бы все логично, на первый взгляд. Но, на взгляд более пристальный, и достаточно авантюрно — без рекомендаций, без контракта отправиться в чужую страну, про которую известно лишь то, что там по улицам больших городов бродят медведи. Тем не менее, Стеллер едет. И в Петербург все-таки попадает. Судьба сбывается.



*А Стеллер вообще был великим ходяком. На Камчатке это даже помогло ему придумать новый научно-экспериментальный метод. Камчатку нужно было активно осваивать, но людей для этого не хватало. Приток человеческой силы ограничивался несколькими обстоятельствами. Одно из них — страшная дороговизна хлеба. Стеллер задумался: а нельзя ли человеку вовсе обойтись без хлеба? Чтобы ответить на этот вопрос, он прошел пешком 242 версты от Большерецка до Верхнего Камчатского острога, исключив из своего рациона хлеб и используя в питании только местные продукты. Дошел живым, невредимым и лишь слегка похудевшим. Научная проблема была решена. Но не бытовая — русские не захотели отказываться от хлеба.*

Как выяснилось, в Петербурге Стеллера никто не ждал. Его не встретили овациями, не умоляли на коленах занять место профессора ботаники. Но это не обескуражило молодого ученого. В скором времени ему удалось завоевать доверие Феофана Прокоповича. Прокопович любил понятливых собеседников, да и здоровье его оставляло желать лучшего. Позади были бурные годы, полные реформаторских трудов, опасностей, интриг, побед и поражений. Стеллер, знающий толк в медицине, согласился стать лечащим врачом архиепископа. Свободного времени оставалось немало, его он посвящал научным изысканиям. В Академии был, что называется, «на подхвате». Но — с несомненными перспективами. Чего бы еще желать? Имея такой мощный «паровоз», каким был для него Феофан Прокопович,

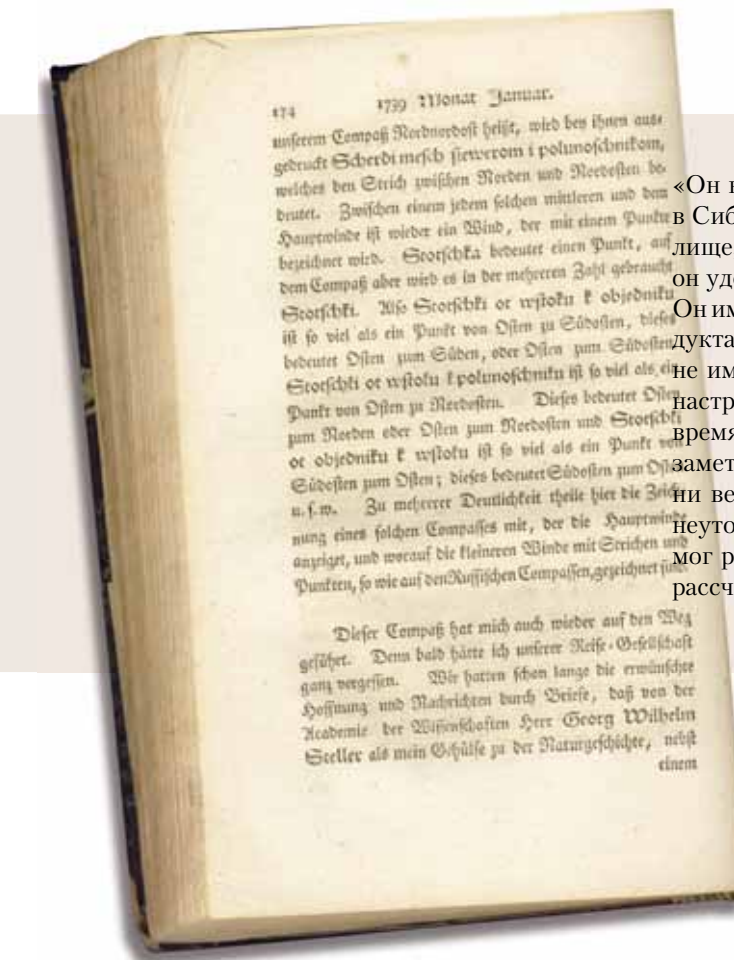


Бывают странные сближенья... Прокопович и Стеллер встретились еще раз — уже после смерти. Первое полное издание трактатов Феофана Прокоповича было предпринято в Лейпциге в 1773–1775 гг. И в это же время в Лейпциге впервые опубликовали «Описание земли Камчатки» Стеллера. В России это сочинение — по причинам, которые мы за недостатком места не будем разбирать (а ведь тоже история почти детективная!), — положили под сукно. И очень толстое сукно — русскому переводу этой книги удалось пробиться из-под него к читателю только в конце XX века. Странная встреча, не правда ли? Но вот в дружбе Прокоповича и Стеллера ничего странного не было — это было сродство душ. Прокопович — убежденный протестант в наряде православного иерарха. Петровское время не скупилось на парадоксы. Главным реформатором православной церкви, канонически «обосновавшим» методы петровской религиозной реформы, оказался человек, «лучшими силами своей души, — как признавался он в приватном письме, — ненавидевший митры, саккосы, жезлы, свещницы, кадильницы и тому подобные забавы». А любивший науки и искусства, дух переустройства и мощное государство, пиры и интриги и ничем не брезговавший в достижении целей, казавшихся ему оправданными высокой необходимостью. В 1730-е годы, когда главного единомышленника и покровителя уже не было на свете, земля качалась под ногами архиепископа, ему требовалась духовная поддержка, которой он искал у близких по духу людей. Таким ему увиделся Стеллер. Таким, впрочем, во многом он и был.

можно было спокойно ждать превращения этих перспектив в несомненнейшую реальность. Совершенно точно — стал бы Стеллер со временем профессором. И, надо думать, не последним.

Не тут-то было. Когда он узнал о Второй Камчатской экспедиции, беспокойное сердце его заволновалось. Туда, в Сибирь! И уже никто не мог его отговорить от этого опрометчивого, в глазах многих, шага. В Петербурге Стеллер немало общался с Д. Г. Мессершмидтом, который семь лет (в 1720–1727 гг.) по заданию Петра I колесил по Сибири, собирая сведения о ее истории, природе и этнографии. По сути, Мессершмидт был разведчиком армии, если под «армией» понимать Вторую Камчатскую экспедицию. Разведчикам всегда нелегко. Натерпелся в Сибири, похоже, и Мессершмидт, потому что он всячески отговаривал Стеллера от поездки, грезившейся тому во снах. Не отговорил. Заручившись поддержкой сильных мира сего, Стеллер добился-таки своего. В начале 1737 года его приняли на службу в Академию наук адъюнктом натуральной истории при Камчатской экспедиции. Снова судьба.

По приглашению И. Гмелина и Г. Миллера, руководивших академическим отрядом Второй Камчатской экспедиции, Стеллер в январе 1739 года заехал к ним в Енисейск. Как и они, на всем протяжении своего путешествия он вел дневники, со временем превратившиеся в многочисленные научные труды. Академиком поразили личные качества молодого ученого. Вот как пишет о нем в своем «Путешествии по Сибири» И. Гмелин:



В нескольких строках внимательный Гмелин обрисовал весь характер этого удивительного человека — именно таким он предстает и на страницах своих дневников, которые читаются запоем. Другое дело, что отношение между Стеллером и академиками вскоре усложнилось — почти до вражды. Стеллер не признавал никакой субординации — это-то и послужило главной причиной охлаждения. Он был неумолим, и при всей своей «легконравности» без страха шел на конфликт с теми, кому формально обязан был подчиняться. Но шел в одном-единственном случае — «за правду».

Добравшись до Иркутска, Стеллер много работал, обследуя места, оставленные без внимания «господами академиками», заполняя белые пятна. Он был обласкан местными властями, перезнакомился с местным обществом, получал всякую необходимую помощь. Дальнейший его путь лежал на Камчатку, но сама жизнь предоставила ему шанс отказаться от опасной поездки. Отказались же от нее в свое время Миллер и Гмелин, отправив туда студента Крашенинникова. Более того, Стеллеру не нужно было ничего и придумывать. Он мог воспользоваться формальным запретом самих академиков.

Дело в том, что Стеллер, не посоветовавшись с Гмелиным и Миллером, отправил из Иркутска в Петербург собранные в тамошних местах материалы: травы,

«Он никакой одеждой себя не обременял. Поскольку в Сибири приходилось самому обустроить свое жилище, он довольствовался очень малым. Свою жажду он удовлетворял пивом, медом и водкой (!!! — А. П.)... Он имел всего один горшок, заполнявшийся всеми продуктами, которыми он располагал. Он никакого повара не имел. Готовил все сам... Он был всегда в хорошем настроении, и с ним необычайно легко было проводить время, поскольку он всегда был весел. При этом мы заметили, какой бы беспорядочный образ жизни он ни вел, в работе был пунктуальным и все выполнял неумолимо. Исследования были для него легки, и он мог работать целый день без пищи и питья, когда он рассчитывал на успех в своих научных занятиях».

минералы, кости, семена и «иные курьезные вещи». Узнав об этом, академики разгневались, задержали в Красноярске, где зимовали, груз, перебрали его, а иркутским властям послали реляцию, требуя запретить Стеллеру, «не умеющему работать самостоятельно», поездку на Камчатку.

Иркутск — не Камчатка, все-таки какая-никакая, а цивилизация. Останься здесь, Стеллер не подвергал бы свою жизнь смертельной опасности, а для научных изысканий Сибирь тогда представляла великие возможности — была бы охота их использовать. Но не таков Стеллер. Да, он ученый милостью Божией, но к тому еще и человек, влюбленный в горизонт. А горизонт недостижим, он всегда отодвигается. Стеллер был человеком, идущим за горизонтом. И еще — его влекло все, «что гибелью грозит». Это какое-то неосознанное стремление испытать себя на пределе сил человеческих, открывая при этом новое — новые виды животных и растений, новые земли, новые народы...

Невзирая на запрет своих формальных начальников, Стеллер встретился с заместителем Беринга М. Шпанбергом и добился от него разрешения ехать на Камчатку. Сначала он предполагал принять участие во второй экспедиции Шпанберга к Южным Курилам, а когда та не удалась, познакомился с самим Берингом. «Ныне обретаецца здесь, — сообщал в донесении Беринг, — присланный





из Санкт-Петербурга адъюнкта истории натуральной Штеллер, который писменно объявил, что он в сыскании и в пробовании металлов и минералов надлежащее искусство имеет, чего ради капитан командор со экспедицкими офицерами определили его, Штеллера, взеть с собою в вояж, к тому же он, Штеллер, объявил же, что в том вояже сверх того чинить будет по своей должности разные наблюдения, касающиеся до истории натуральной и народов и до состояния земли и протчаго, и ежели какие руды и найдутца, то оным адъюнктом Штеллером опробованы будут». Ради справедливости надо сказать, что равнодушно к научным изысканиям Беринга более привлекли медицинские познания ученого. Сам Беринг прихварывал, и врач на корабле ему был очень нужен (штатный судовой лекарь, по некоторым сведениям, как раз в это время тяжело заболел). Беринг даже определил Стеллера в собственную каюту.

Но, так или иначе, в знаменитый «вояж», закончившийся столь трагически, Стеллер отправился. Снова судьба вела.

Страшные обстоятельства обратного плавания широко известны. Два месяца корабль трепали бури, люди в мучениях умирали от цинги. «Мы плыли, с Божьей помощью, куда нас гнало разгневанное небо, — пишет Стеллер. — Половина нашей команды лежала распротертой, другие, в силу необходимости, держались как здоровые, но вследствие ужасающих волн и качки корабля все были как полоумные. Молились горячо и много; но проклятия, накопившиеся за десять лет пребывания в Сибири, лишали нас возможности быть услышанными». А вот жуткая хронология этого плавания, запечатленная в скупых строчках вахтенного журнала (приводим выдержку из него): «18 октября. Волею Божьею умер морской солдат Алексей Киселев. 20 октября. Волею Божьею умер камчатский служилый Никита Харитонов. 22 октября. Волею Божьей умер морской солдат Лука Завьялов. 31 октября. Умер солдат якуцкого полку Карп Пашенной. 2 ноября. Умер адмиралтейский плотник Иван Петров. 4 ноября. Умер барабанщик сибирского гарнизона Осип Ченцов (3 ч. ночи). 2 ч. дня умер сибирский солдат Иван Давыдов. 5 ч. дня умер морской гренадер Алексей Попов».

В конце концов, они высадились на остров, названный позднее именем Беринга. Три недели спустя буря сорвала с якоря пакетбот и он, сев на мель, пришел в совершенную непригодность. Остаткам команды пришлось зимовать на острове. За зиму погибло еще

тридцать человек, включая и Витуса Беринга. Но в том, что остальные выжили и вернулись домой, немалая заслуга Стеллера.

Он ухаживал за больными, охотился на зверей, поил членов команды противоцинготным чаем — до тех пор, пока те не стали понемногу оправляться. И при этом с увлечением исследовал остров. Собрал несколько коллекций и большой гербарий, открыл несколько новых видов животных и птиц. При этом надежды на счастливый исход временами покидали и его: «Я был один, — писал он, — под открытым небом, должен был сидеть на земле; мне мешали холод, дождь, снег и часто беспокоили звери; у меня не было нужных инструментов, и притом я не надеялся, чтобы когда-нибудь моя работа сделалась известной и принесла кому-нибудь пользу». Но перед товарищами он всегда предстал веселым, неунывающим и энергичным.

И высокое любопытство, без которого не бывает настоящей науки, ни на минуту не оставляет его. Ему нужно все увидеть собственными глазами, потрогать руками, попробовать на язык. Удивительно, но даже молоко той самой, знаменитой морской коровы, что теперь исчезла, но в научном обиходе носит его имя, он описывает так, будто пил его (да ведь и пил, скорее всего!): «Под передними ногами [у нее] находятся грудные железы с черными, морщинистыми, в два дюйма длины сосками, к концам которых идут бесчисленные

Якутск (1753 г.)



За словом в карман Стеллер, если ему нужно было чего-нибудь добиться, никогда не лез — тому есть немало свидетельств. Но этой его «несдержанности» наука обязана целым рядом открытий. Он ведь и с Берингом отношения по дороге на Аляску испортил до такой степени, что капитан-командор объявил ему форменный бойкот. А прислушайся он к настырному ученому — как знать, экспедиция эта, быть может, была бы более счастливой. Потому что закончиться она могла намного раньше. Дело в том, что с первого захода Беринг «промазал» мимо Аляски. Близкую землю закрывал туман. Стеллер же обращал его внимание на приносимые с севера водоросли и улетающих туда птиц. Но капитан-командор отмахнулся от него, как от назойливой мухи. Когда наконец обнаружили остров Кадьяк близ аляскинских берегов, времени уже почти не оставалось. Снедаемый тревожными предчувствиями Беринг приказал лишь пополнить запасы воды и тут же отправляться в обратный путь. Стеллер снова не сдержался: «Итак, — сказал он, — мы сюда пришли для того, чтобы американскую воду перевезти в Азию», — и потребовал отпустить его на берег. Далее произошел скандал. Но предоставим слово самому Стеллеру: «Сначала меня старались запугать рассказами о страшных убийствах, но когда я на это ответил, что никогда не был бабой и опасностей не боюсь, и что совсем не могу понять, почему меня не хотят отпустить на землю и препятствуют выполнению возложенных на меня правительством задач (каков хитрец! — А. П.), то меня старались задержать на корабле шоколадом, который как раз в этот момент готовился. Когда же я окончательно убедился, что меня хотят силою принудить к неисполнению служебных обязанностей, то я, наконец, отбросив всякое стеснение и вежливость, взмолился особой молитвой, что тотчас же и смягчило господина командира: он отпустил меня на землю с водовозами...» Что же за волшебную молитву вспомнил Стеллер? Впрочем, гадать нет нужды, чуть ниже он сам дает объяснения: «Съезжая с корабля, я еще раз показал командиру, хорошо ли я умею ругаться и сердиться, ибо он велел, дабы заглушить мои слова, трубить трубачам мне вслед». И, похоже, к спасительной помощи «особой молитвы» Стеллер в своей жизни прибегал нередко. В данном случае она оказалась действительно чудодейственной. За шесть отпущенных ему часов Стеллер совершил настоящий научный подвиг, описав флору и фауну острова (одних растений им было обнаружено 160 видов), приметы быта его обитателей (которые скрылись при виде чужеземцев) и собрав огромное количество научных экспонатов.

молочные каналы, содержащие большое обилие молока, превосходящего своею сладостью и содержанием жира молоко животных, живущих на земле, в остальном же вполне схожего с ними...»

Все, в конце концов, обошлось. В августе 1742 года оставшиеся в живых путешественники вернулись в Петропавловск.

Время с августа 1742 года по август 1744 года отмечено необыкновенно бурной деятельностью ученого. Он будто спешил закончить все дела, сделать которые был рожден судьбой. Вторая Камчатская экспедиция завершилась, ее участники, недосчитавшись многих в своих рядах, разъезжались по домам, но Стеллер в Европу не торопился. Он все время в дороге, в трудах: за эти два года он исходил вдоль и поперек Камчатский полуостров, побывал практически во всех острогах, сплавал на северокурильский остров Шумшу, изучал жизнь русских и аборигенов на Камчатке, собирал коллекции, описывал растения и животных, много писал. При этом, по своему обыкновению, «спешил (он все время спешил!) делать добро». Открыл в Большерецке школу и сам преподавал в ней. Защищал ительменов от притеснений колонизаторов, а таковых хватало — сама удаленность от метрополии и безнаказанность провоцировали многих вести себя подобно царькам. Разумеется, снова наживал себе врагов.

Вообще, надо признать, что психологическая атмосфера во Второй Камчатской экспедиции была не слишком здоровой. Разногласия начались с самого начала. Руководители экспедиции не могли найти между собой общий язык, ссорились. Было много недоразумений среди личного состава. Берингу не всегда удавалось твердой рукой навести порядок. Выработался и метод ведения интриг. Всякий обиженный или считавший себя таковым тут же писал жалобу в Петербург. Учитывая расстояния и то, что в самом Петербурге 30-х — начале 40-х годов XVIII века было далеко не спокойно, можно себе представить царившую в экспедиции неразбериху.

Не брезговал указанным методом и Стеллер. Но опять же — исключительно «за правду». Почти влюбившись в ительменский народ (не забудем, что для эстетики нарождавшегося тогда Просвещения был характерен культ естественного человека), он в меру сил своих старался оградить ительменов от чрезмерной внешней агрессии. Где-то около этого времени, столкнувшись с возмутительными фактами, он написал в Сенат, что некто мичман Хмелевский не исполняет правительственных распоряжений и притесняет туземцев. Вот тут и лежит завязка рокового финала жизни ученого. Хмелевский не остался в долгу и послал в тот же Сенат доклад о том, что Стеллер самочинно освободил бунтовщиков из-под стражи и даже снабдил их оружием. Первое было сущей правдой, хотя освобождал Стеллер не бунтовщиков, а бедных людей, доведенных произволом до тихого ропота; второе же являлось просто вздором. Но вздор, если на нем настаивают, часто убеждает лучше правды.

Но, пока суд да дело, Стеллер продолжал свои труды. Зимой 1742–1743 гг. он посвятил «Описанию земли Камчатки» и практически завершил эту замечательную книгу.



*Цитировать Стеллера хочется бесконечно, настолько он оригинален в своих писаниях. И не только бесценными сведениями привлекают они. Сам стиль его притягивает как магнит, не отпускает. Без сомнения, Стеллер мог бы стать крупным писателем. Для этого в его текстах есть все: чувство ритма и композиции, тонкая ирония, романтическая взволнованность, чуть уловимая эротичность. Приведем забавный пример. Встретившись с морской коровой, Стеллер высказал гипотезу, призванную совершить переворот в морской мифологии. В то время много говорили о русалках, пытались как-то рационально объяснить появление многочисленных легенд, повествующих о встречах с ними. В результате как будто стали сходиться на том, что русалки суть эротические фантазии моряков, у которых слегка «едет» психика в условиях долгой оторванности от нормальной жизни. Стеллер и тут решил идти против общепринятого мнения. Понаблюдав за морскими коровами, он предположил, что именно этих животных усталые глаза моряков всегда принимали за русалок. Мысль дерзкая, если не забывать, что это были животные длиной до десяти метров и весом более четырех тонн, и что они передвигались по дну свое массивное тело с помощью двух ласт. Правда, у них был хвост, напоминающий китовый (и русалочий?), и еще кое-что, что позволило Стеллеру сблизить морскую корову с человеческим существом. Вот как он описывает любовь морских коров: «Совокуплению предшествуют долгие любовные игры. Непрерывно преследуемая самцом самка не спеша плавает туда-сюда, легко уклоняясь от него, пока, решив не откладывать дальше, не перевернется на спину, как бы устав и уступая, после чего самец стремительно наплывает на нее сверху, платя дань своей страсти, и они застывают в совместном объятии». Какова поэзия! А интересно — писал ли Стеллер стихи? Что-то подсказывает, что определенно должен был писать.*

Около половины ее объема занимают уникальные сведения об ительменской культуре, об образе жизни этого странного, ни на кого из ближайших соседей не похожего народа. Даже трудно представить, сколько времени он должен был провести среди ительменов, чтобы столь подробно описать их жизнь, и, что существеннее, кем для них стать, чтобы они настолько открылись перед чужеземцем. Впрочем, в тех случаях, когда ительмены что-нибудь утаивали, Стеллер, как он это умел, придумывал новые остроумные методы научного исследования. Так, для того, чтобы записать обряд главного ительменского праздника, он притворился спящим, а уж потом записывал выведенные таким образом детали ритуальной практики.

В августе 1744 года Стеллер почел свою миссию выполненной и через Охотск и Якутск поехал обратно. В столицу.



Тунгус в охотничьем наряде. Конец XVIII в.



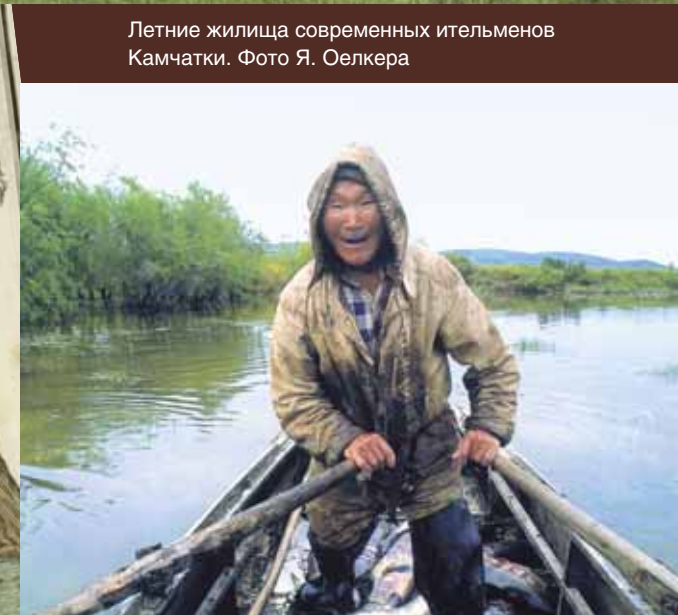
Камчатка



Летние жилища современных ительменов Камчатки. Фото Я. Оелкера



Камчатский шаман. Конец XVIII в.




Рыбный промысел — одно из основных занятий коряков. Фото Я. Оелкера



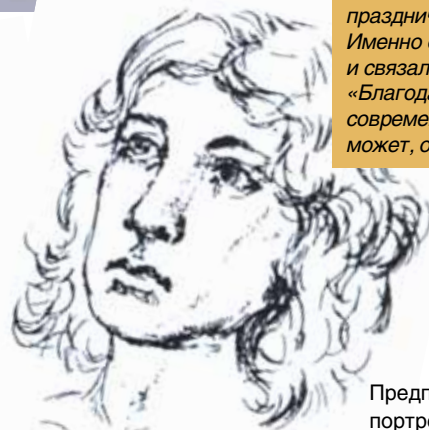
Фото Я. Оелкера

Остров Шумагина

 *Нынешние ительмены трепетно хранят память о Стеллере. Из ученых он был одним из тех немногих, кому довелось видеть ительменов как народ «в чистом виде». К концу прошлого века ительмены, в сущности, исчезли с лица земли, ассимилировавшись с другими народами. Но народ — это не только чистота крови. Важнее другое — национальное самосознание, хранителем которого выступает культура. Погибает культура — погибает и народ. Но культуру можно попытаться оживить, для этого требуются письменные источники, запечатлевшие ее. Когда в конце двадцатого века на Камчатке объявились местные энтузиасты, смыслом жизни которых стало возрождение ительменского народа, они первым делом стали искать такие источники. Одним из них стало «Описание земли Камчатки» Стеллера. Именно по его описаниям оказались воскрешены многие праздничные обряды, танцы, ритуалы, бытовая культура. Именно от Стеллера люди узнали о родном прошлом и связали его с настоящим, а значит, и с будущим. «Благодаря Стеллеру живет наша культура, — говорят современные потомки ительменов. — Спасибо ему. Быть может, он сейчас слышит нас?»*



Предположительно портрет Г. В. Стеллера



Стеллерова корова



Судьба была исполнена. Здесь ей угодно было поставить точку. Вот только вопрос: почему эта точка вышла столь печальной? Спрашивать, впрочем, особенно не у кого.

О последних месяцах жизни Стеллера писать тяжело. Не оставляет ощущение какой-то страшной внутренней катастрофы. Бывают резиновые люди — гни их в любую сторону, они лишь улыбнутся в ответ. Стеллер был железным человеком, он мог вынести нечеловеческие нагрузки, но наступал предел, сверх которого железо просто ломается. Способствовало этому, видимо, и то, что в свои последние месяцы он оказался как бы выдернут из состояния постоянного созидания, позволил себе расслабиться, передохнуть. Отдых людям такого калибра противопоказан.

Мы знаем лишь одно. После освобождения из-под стражи в Таре (этот сюжет в двух словах описан в предисловии к нашей публикации) Стеллер по пути на запад остановился на три недели в Тобольске. Здесь его окружили теплом и симпатией, и Стеллер, то ли радуясь своему освобождению, то ли заглушая

невыносимую боль от чудовищного ему непризнания научных своих заслуг в столице, увлекся возлияниями. Всю дорогу в Тюмень он продолжал алкогольные упражнения. По свидетельству очевидцев, все это время он жаловался, что жить больше не хочет. Что карьера не задалась, а научная деятельность никчемна. Погода стояла холодная, и Стеллер сильно простыл. В Тюмени его пытались выводить находившиеся там два корабельных лекаря Второй Камчатской экспедиции, но ничего не помогло — Стеллер сгорел в считанные дни.

Священник запретил похороны протестанта на православном кладбище, и Стеллера похоронили на крутом берегу Туры. Тело перед этим завернули в дорогую красную мантию с золотыми нашивками. В ту же ночь могила была осквернена, мантию с покойника содрали, а голое тело бросили рядом. Повторно похоронив Стеллера, его друзья, чтобы больше не соблазнять злоумышленников, положили на могилу массивную каменную плиту. Спустя тридцать лет поклониться праху Стеллера сюда приходил академик П. С. Паллас. После этого могилу потеряли — ее снесла вода в один из мощных паводков.

На этой минорной ноте (не без некоторого метафизического громыханья где-то вдали) закончилась земная судьба замечательного ученого.

Когда размышляешь о ней, невольно вспоминаешь «Железную волю» Лескова. Георга Стеллера вряд ли можно назвать двойником Гуго Пекторалиса, Стеллер слишком жизнерадостен и бесшабашен для этого. Но сам образ немецкого «железа», намертво вязнувшего в русском «тесте», многое может объяснить. И лежит это как-то вне оценочных характеристик: «Железо хорошо, а тесто плохо», или наоборот. Всему свое время и свое место. Неслучайно и то, что лесковская повесть была



Морские коты на о. Беринга. Фото У. Ванхофа

впервые переиздана и как бы обрела второе дыхание в годы Великой Отечественной войны. Во всяком случае, тут есть, о чем подумать.

Судьба Стеллера страшна и прекрасна. И где нам взять те беспристрастные весы, которые бы честно взвесили точную меру того и другого, ответив при этом, стоило все-таки и ли не стоило молодому Стеллеру отправляться в неведомую Россию? Такие весы нам взять не дано. Но представим на минуту: тот самый профессор Хофман, о котором речь шла в самом начале нашего рассказа, все-таки уговаривает короля Фридриха Вильгельма принять Стеллера профессором по кафедре ботаники. У короля хорошее настроение, он встал с правой ноги, он встречает юного ученого с распростертыми объятиями и ведет за руку к ликующим студентам. Далее все представимо и расчислено на долгие годы вперед... И никакой России, никакой Камчатки, никакой Аляски. Выразить отношение к такому повороту судьбы — личное дело каждого читателя. У нас же, как бы жестоко это кому-нибудь не показалось, все внутри протестует против такого варианта... Толковых ученых в Германии были сотни (если не тысячи), а Стеллер в России был один. Он счастливо попал в свою судьбу, как шар в бильярдную лузу. И прожил ее по максимуму, обогатив русскую и мировую науку.

Другое дело, что вклад этот долго лежал под спудом. Вспомним еще раз тяжелый камень, положенный на его могилу. Точно такой же камень, образно говоря, лег и на его труды. Настало время, и мы этот камень понемногу приподнимаем.

## КАМЧАТСКАЯ

ЭКСПЕДИЦИЯ  
СЕКТОРА ФОЛЬКЛОРА  
НАРОДОВ СИБИРИ  
И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА  
ИНСТИТУТА  
ФИЛОЛОГИИ СО РАН



Фотографии К. Сагапева



# ВТОРАЯ КАМЧАТСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ — НАУЧНЫЙ ПОДВИГ XVIII СТОЛЕТИЯ

О ПРОЕКТЕ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ИСТОРИИ СИБИРИ

В начале XVIII столетия одним из первых центров по изучению России был город Галле. Между Университетом Галле и Российской Академией наук развились многочисленные контакты. Август Герман Франке (1663—1727), теолог и лингвист, учредил сиротские приюты и школы; Фонд Франке, финансируемый на средства от торговли лекарствами, печатного цеха, книжного магазина, издательства и недвижимости. Под влиянием идей начала эпохи Просвещения Франке разработал выдающуюся систему образования, которая привлекла интерес людей всего мира, в том числе и Петра I. В России при помощи Франке его последователями были основаны начальные школы, например, в городах Нарва, Альп, Астрахань и Тобольск; причем школа в Тобольске была вообще первой в Сибири школой.

Одним из учителей в школах Фонда Франке был Георг Вильгельм Стеллер, впоследствии один из участников Второй Камчатской экспедиции.

В 1992 году в Галле небольшая группа ученых приступила к изучению Германско-Российского научного сотрудничества в XVIII веке, в частности, работы и научных результатов, полученных учеными, отправленными Российской Академией наук во Вторую Камчатскую экспедицию. В 1996 году там же была организована выставка, посвященная памяти Георга Вильгельма Стеллера, при участии множества учреждений и музеев из России и других стран. Прошла и первая Международная конференция, посвященная Стеллеру, которая дала новое понимание важности исторических исследований деятельности участников Второй Камчатской экспедиции учеными, работающими сегодня в области географии, геологии, ботаники, зоологии и этнологии Сибири и России. Таким образом возникла идея серии публикаций Фонда Франке и архивов Российской Академии наук Санкт Петербурга с ранее неопубликованных документов и рукописей, главным образом, Второй Камчатской экспедиции, изданных разрозненно в России и Германии. Была сформирована структура сотрудничества, куда вошли многочислен-

Виланд ХИНТЦШЕ



Д-р Виланд ХИНТЦШЕ, руководитель международного проекта издания источников по истории Сибири и Аляски (г. Галле)

ные учреждения из России, Германии, Дании, США и других стран. На сегодняшний день в серии «Quellen zur Geschichte Sibiriens und Alaskas aus russischen Archiven» (Источники по истории Сибири и Аляски из Российских архивов) опубликованы следующие тома: том I. Письма и документы Георга Вильгельма Стеллера с 1740 года (Германского и Российского издания); том II. Путевые журналы и географические описания Георга Вильгельма Стеллера, Степана Крашенинникова и Иохана Эберхарда Фишера (1735—1743) (Германское издание); том III. Письма и документы Георга Вильгельма Стеллера с 1739 года (Германское издание); том IV. 1. Документы Второй Камчатской экспедиции, 1730—1733 гг., Морское ведомство (Российское издание). Том IV. 1. Документы Второй Камчатской экспедиции, 1730—1733 гг., — Научная группа (Германское издание) — находятся в данный момент в печати.

Сейчас ведется работа над несколькими последующими томами данной серии. Среди них «Иркутская флора» Георга Вильгельма Стеллера. Это первое научное описание флоры Байкальского и Трансбайкальского региона. В 1739 году Стеллер описал более 1150 видов

растений этого региона и среди них — множество новых видов. В одном из томов представлены географические описания Красноярского, Енисейского и Иркутского регионов, сделанные Г. Стеллером, Иоганном Георгом Гмелиным, Герхардом Фридрихом Мюллером и Иоханном Эберхардом Фишером. Также готовится путевой журнал Стеллера, охватывающий период с момента его отъезда из Санкт-Петербурга в 1737 году до его прибытия в Енисейск. Этот путевой журнал с XVIII века считался пропавшим, но был найден доктором В. Хинтцше в Санкт-Петербурге. Вот что написал о путевом журнале Стеллера американский зоолог Леонхард Штейнегер в своей знаменитой биографии Стеллера в 1936 году: «Во время своего длительного путешествия из Санкт-Петербурга в Охотск, на которое ушло почти три года, Стеллер вел дневник (Itinerarium und Journal von St. Petersburg bis nach Kamtschatka, Journal von St. Petersburg bis Kamtschatka), который был, к сожалению, утрачен. Если бы его хранили с такой же скрупулезностью и усердием, с которыми он писал свой дневник, какие замечательные заметки мы бы имели о людях и условиях времен Второй Камчатской экспедиции!»

Сейчас доктор А. Элерт (Новосибирск) и доктор В. Хинтцше (Галле) совместно готовят к печати не менее чем двухтомное издание этнологических рукописей Герхарда Фридриха Мюллера, где ученый дает подробное описание народов Сибири. Мюллер развил идеи по универсальному описанию народов и рассматривал свои произведения как первый шаг к созданию такого описания. После публикации этих рукописей безусловно должна произойти переоценка приоритетов в научной этнологии, в том смысле, что она была основана не Аугустом Вильгельмом Шлёцером, а вероятно, тридцатью годами ранее, — Г. Ф. Мюллером.

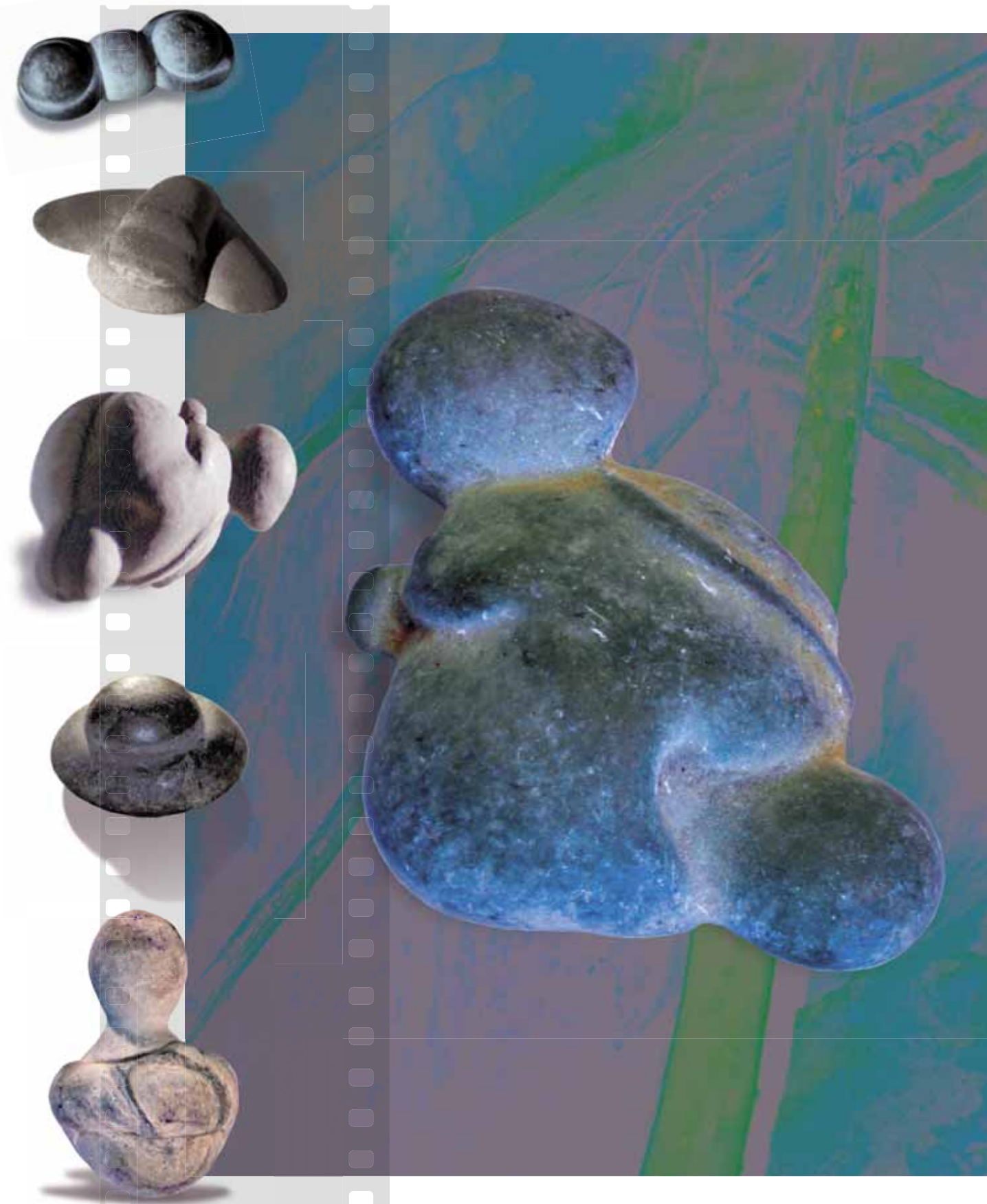
В данном проекте по сотрудничеству ведущими являются: Архив Академии наук Санкт-Петербурга, Институт Истории Сибирского отделения Российской Академии наук, (г. Новосибирск), Славянский институт Университета Аархус (Дания) и Фонд Франке в Галле (Германия).

И ремарка: хотя во многих международных обзорах эту работу приветствовали, как выдающийся и успешный пример международного сотрудничества по исследованию России и Сибири, проблемы с финансированием ее в Германии ставят под угрозу будущее нашего проекта.



Фотографии К. Сагапева





# В бесконечности невоплощенных СМЫСЛОВ:

Константин БАННИКОВ,  
Елена КУЗНЕЦОВА

## МЫСЛИ О ТОФАЛАРСКОЙ ГЛИНЕ



**БАННИКОВ Константин Леонардович** — кандидат исторических наук, докторант Института этнологии и антропологии РАН (г. Новосибирск), заведующий отделом страноведения и путешествий Международной медиа-корпорации «Иностранец»



**КУЗНЕЦОВА Елена Анатольевна** — старший научный сотрудник отдела хранения фондов Новосибирского государственного краеведческого музея, начальник отдела научного учета научно-производственного Центра по сохранению историко-культурного наследия Новосибирской области

Работа в хранилищах музеев часто бывает не менее увлекательной и в то же время не более предсказуемой, чем археологические раскопки.

Несколько лет назад, трудясь в фондах Новосибирского государственного краеведческого музея (НГКМ), один из авторов этой статьи натолкнулся на коробку, в которой находилось 20 небольших предметов серо-зелёного цвета, различных по форме и весьма похожих на гальку. Своими капризными, но правильными очертаниями они отчасти напоминали некоторые образцы современного искусства. Именно эта затейливая сложность и симметричность деталей заставила автора находки усомниться в том, что музейный экспонат — простая галька, обработанная водой и ветром. В природе, как известно, правильные формы встречаются только на микро- и макроуровне — в качестве молекулярных решеток и космических орбит. Все, что доступно невооруженному человеческому взгляду, обычно представляется ему хаосом, привести в порядок который призван логос.

Логос далекого музейного предшественника, снабдившего предметы этикетками, донес нам знание о том, что это — «костырма». Предметы были переданы в дар музею неким Лыткиным, а привезены от карагасов в 1928 году.

Записи из довоенных инвентарных книг дополнили скудные сведения о «костырме»: первоначально в музей попало 36 таких предметов, и им была дана оценка — 1 рубль каждый. Тогда они были названы как «конкреции, имеющие религиозное назначение».

Это дополнение ненамного проясняло ситуацию. В традиционном обществе любой предмет при желании можно наделять религиозным значением, поскольку его образ и функция занимают определенную область в мировоззрении, от которого религию отделить невозможно (Ревуненкова, 1980).

Среди двадцати экземпляров «костырма», хранящихся в НГКМ, нет абсолютно похожих. Попробуем их описать. Размеры камешков колеблются от 2 до 7 см в длину и от 1 до 3,5 см в ширину. Фигурки можно разделить на антропоморфные, зооморфные, дисковидно сросшиеся — типа «восьмёрки» или более сложных форм, — а также колоколовидные. Часть из них гладко окатана со всех сторон, часть — плоская и ровная с одной стороны.



Карагасами до 1930 г. называли тофаларов — народ, живущий преимущественно на горно-таёжных территориях Нижнеудинского района Иркутской области, в бассейнах рек Уда, Бирюса, Кан, Гутара, Ия и др. Основой их традиционного хозяйства является охотничий промысел и кочевое оленеводство (Вайнштейн С. И. *Тофалары // Народы и религии мира.* — М., 1999. — С. 537)

Термин «иматровые конкреции» возник от названия водопада Иматра в Карелии, где эти минеральные образования впервые были найдены (Мельникова Л. В. *Тофы: Историко-этнографический очерк.* — Иркутск, 1994. — С. 142)

На некоторых видно неярко выраженное ребро по всему периметру, напоминающее заусеницу при формовке. На первый взгляд казалось, что такими сложными формами «костырма» обязаны обработке, т. е. предметы эти являются творениями человеческих рук. Однако трасологический анализ поверхности, проведённый в лаборатории Института археологии и этнографии СО РАН, показал, что следы искусственной доработки (гравировка, пиление, резьба, шлифовка) отсутствуют.

Геологи определили, что камешки, которые тофалары называют «костырма», являются иматровыми конкрециями\*, встречающимися в четвертичных ленточных озёрных глинах (Мельникова, 1994).

Они образовались из сильно кальцитизированных аргиллитов — глинисто-известковых пород. Данные тонкослойчатые экземпляры (с послойной примесью крупноалевритового и песчаного материала) слагались из мелко-слоистых микропесчаников и мелкозернистых песчаников с глинисто-карбонатным (кальцевым) цементом. Именно послойными продольными разломами, возникшими под воздействием внешних факторов, объясняются плоские и ровные стороны некоторых «костырма».

Процесс формирования «костырма» в природе изучен ещё не до конца. Существует несколько версий. Согласно одной из них, «костырма» — результат начальной стадии процесса физического выветривания валунов, обнажающихся в гляциальных отложениях (в т. ч. и в глинах) и сформировавшихся из слабых пород осадочного или метаморфического происхождения. Образование «костырма» завершалось вследствие неоднократных перемылов в береговой зоне рек и озёр.

Течение не могло далеко относить русловые отложения, иначе на довольно хрупких фигурках неизбежно возникли бы разломы. Возможно, поэтому при полном сборе камней в одном месте, на следующий год они появляются именно здесь и никогда ниже по течению. Об этом же свидетельствует идентичность химического состава камней и глин, в которых их находят.

Но что дает знание химического состава предмета для понимания его места в культуре? Даже если это вещь съедобная — очень мало. На отдельных экземплярах «костырма» из НГКМ были обнаружены следы контакта с кожей



\* Конкреция (от лат. *concretio* — срастание, сгущение) — минеральное образование округлой формы в осадочных горных породах, возникающее при диагенезе и резко отличающееся от вмещающей породы составом и формой (РЭС. — М., 2001. — Кн. 1. — С. 725)



Карагасы на суглане — ежегодный съезд всех семей (НГКМ, № 2390/6, всп. ф.)



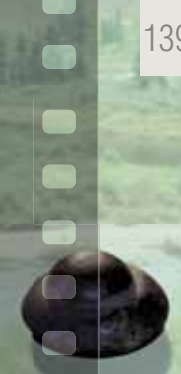
или тканью, из чего можно предположить, что их носили на одежде. Но в каком качестве — как амулет или как украшение? Этого химический анализ установить не в силах. Отсылка «костырма» к разряду артефактов религиозного характера лишь повлекла вопросы относительно места этих предметов в культуре тофаларского народа.

В дореволюционной и современной этнографической литературе упоминания о «костырма» встречаются не очень часто. В начале XX в. о них писал этнограф В. Н. Васильев в «Кратком очерке быта карагасов», а более подробные сведения — в контексте местных легенд — приводил в 1931 году журналист Б. Чудинов в книге «Путешествие по Карагасии».

«Кастарма» («костырма») с тофаларского переводится как «отжимки», «выжимки» (по одному из преданий, фигурки делал дух, выжимая сжатой кистью руки воду из глины) или как «узорочьё» (Мельникова, 1994). Тофалары считали, что таким названием фигурки обязаны имени духа, который обитает в маленьком озере в верховьях реки Кастармы. «Он днём делает различные камен-

ные фигурки, а ночью бросает их на дно речки, протекающей рядом с озером. Когда карагасы кочуют мимо того места, то набирают фигурок и украшают ими свою одежду. На место каждой взятой фигурки Кастарма кладёт новую» (Чудинов, 1931).

Фигуркам приписывали магические свойства: считалось, что их обладателя не укусит змея и ему будет во всём сопутствовать удача. В качестве оберега «костырма» нашивали на детскую одежду, а женихи дарили невестам ожерелья из магических камешков как символ обручения.



Продавая что-то, в придачу дарили мешочек «костырма», скрепляя таким образом совершённую сделку. Кроме того, считалось, что эти камни помогают юношам, избранницы которых не отвечают взаимностью. Неудачливый влюблённый шел ночевать к реке. Если во сне ему открывалось место, где находится его камень счастья, он отправлялся туда и будто бы находил свой амулет. После этого девушка непременно должна была влюбиться в него. Тофалары допускали, что таким же образом можно добиться исполнения и других желаний.

Б. Чудинов описал одно из мест в саянской горной тайге, где находили «костырма»: «Вокруг озера возвышался моренный вал. На обнажениях глины и гальки валялись старые, полуразрушенные фигурки костырма. Но всего поразительнее здесь дно реки около правого берега. Повсюду серые каменные фигурки. Они белели на дне среди камней, некоторые росли на камнях. От движения воды они как будто шевелились. Были видны фигурки животных, людей, много бантиков, часов, пуговиц и т. д.». Чудинов указывает, что особенно много фигурок было в выходах жирной глины на дне,



которая при прикосновении палкой выделяла густую молочную муть. Ему показалось, что именно из этой муты и вырастают фигурки. Однако ни в глине на берегу, ни в воде ничего не было. Для исследователя осталось неясным, растут ли эти камни, как утверждали карагасы, или вымываются из глины.

Этнографическая полевая работа — это основа социально-антропологического исследования, с ее помощью происходит фундаментальный сбор материала. Но мало обладать материалом, его еще нужно научно интерпретировать.

Антропологи любят цитировать определение человека, которое дал Макс Вебер: «Человек — это животное, висящее на сотканной им самим паутине смыслов».

Клиффорд Гирц (мэтр семиотического направления социокультурной антропологии), предлагает считать эту «паутину значений и смыслов» культурой как таковой (Гирц, 2004). Почему бы и нет? Но тут возникает основная проблема социокультурной антропологии, ставящая под сомнение саму возможность объективности гуманитарного знания, а именно — проблема отделения субъекта исследования от его объекта.



Нижне-Удинск. Июль... Жара, пыль, лимонад, мухи... Мы всей своей небольшой, поместившейся в УАЗик-«таблетку», экспедицией Института археологии и этнографии СО РАН, приезжаем в местный аэропорт, с надеждой арендовать «кукурузник» и улететь в столицу Тофаларии — поселок Алыгджер. И, желательно, благополучно долететь.

Но, помня наизусть Бродского, «путешествуя в Азии, вписывай круг в квадрат», особой надежды на это, мы, конечно, не питаем. И доверяем свой предполагаемый взлет и очень желаемую посадку providению, оставив себе лишь скромную роль интерпретаторов ниспосланных свыше символов. А символы ждать себя долго не заставили...

Наш УАЗик подъехал к зданию аэровокзала, мы выходим, и едва не спотыкаемся о... гроб. Вокруг — венки, поодаль — убитые горем родственники. Хорошенькое начало! Если нам по пути, — мы полетим вместе, и возможно, на арендованном нами самолете.

В принципе, никакой проблемы нет. Просто, оценив перспективу, мы все в равной степени испытали смешанные чувства. Наше культурное начало лояльных гуманистов требовало помочь людям и взять тело на борт, животное же начало желало оградить сознание от дискомфорта причастия к чужому горю,

Исследователь, работая в поле, создает насыщенное описание — этнографическую базу очередного проекта. Его восприятие смыслов, подтекстов и значений обостряется, — и в сознании этнографа, стремящегося к пониманию изучаемой культуры, вдруг «просыпаются» какие-то архаические пласты восприятия. Оно превращается в «семиотический локатор», который то ли реагирует на смысловые значения окружающих явлений, то ли производит их сам. Как сказал поэт, смысл появляется там, «где и мух не водилось, не то, что смысла». С точки зрения науки, конечно. А с точки зрения культуры? Разве культура допускает существование реальностей вообще без смысла? По крайней мере, в традиционной культуре ничего не происходит случайно.





особенно в салоне тесного «кукурузника». Культурное начало все же победило.

— Ребята, помогите переставить гроб в тень.

— Конечно... Тяжелый...

— Да, здоровый был парень, молодой. В наш тофаларский праздник Суглан проводятся состязания по национальной борьбе. И он тоже боролся... Упал, ударился головой, и так неудачно... Умер в больнице. Вот сейчас в Гутару, домой, летим. А вы куда?

— А мы в Алыгджер.

— Да-а-а... Не по пути....

Те, кто в высших сферах распределяют для низших обитателей знаки судьбы, иногда удовлетворяются их адекватным прочтением теми, кому они адресованы. И меняют минусы на плюсы.

Мы еще несколько раз переставляли гроб, двигая его по солнцу, пока авиапредприятие искало вертолет на Гутару для родственников погибшего, а для нас — самолет на Алыгджер. Духи местности тем временем искали для нас другие символы и других попутчиков. И нашли — беременную на пятом месяце тофаларскую

девушку, что было сразу же интерпретировано нами как более жизнеутверждающая кандидатура, чем погибший в ритуальном поединке богатырь. И более семантически адекватная целям экспедиции, стремившейся в рамках более грандиозных замыслов, побывать и на реке Кастарма в поисках «конкреций», вместилища в своем символическом коде целый комплекс представлений, связанных с любовной магией, брачной обрядностью, плодородием и жизнью вообще. Кстати, символами и кодами культуры могут быть не только вещи, но и имена.

В Алыгджере нас встретил Михаил Иванович Пугачев, добрый и чудаковатый старик, всю жизнь искавший в тайге то могилу Чингисхана, то артефакты каменного века, то легенды шаманов (кстати, весьма успешно!). Для обитателя Восточных Саян его имя является «кодом», раскрывающим любому из местных жителей (вне зависимости от его социальной принадлежности и степени вменяемости) не только цели вашего визита, но и чуть ли не вашу биографию. Произнеся фамилию «Пугачев», в сознании аборигена вы автоматически



Проводник по тофаларским таежным тропам М. И. Пугачев

займете место чудаковатого парня, одного из тех, что до сих пор приезжают в тайгу «за туманом». А Пугачев — он еще Окладникова с Вайнштейном тофаларскими тропами водил. Ну и нас, сопливых, туда же.

Тайга в это время года оказалась благосклонной к приезжим — комары, по крайней мере, отсутствовали. Мы предусмотрительно захватили с собой шляпы с накомарниками, но насекомых, к нашему удивлению, не оказалось. Через две недели, пройдя в верховья Уды к пещере Саргосан, затем поднявшись по Хангароку и перевалив водораздел плато Шойтнак, мы спустились в долину реки Кастарма.

Пугачев показывал нам сакральные места:

— Вот здесь было святилище, где шаман Хозяину молился. А чум его на противоположном берегу стоял, где река делает крутой изгиб, образуя почти остров. Там еще есть озеро Кастарма. В большую воду соединяется с рекой. А камешки здесь не везде, а только в определенных местах встречаются, где есть выходы этой особой глины. Здесь несколько таких выходов. Ну и на берегу озера Кастарма тоже.







— Да уж, на результаты «процесса выветривания валунов» это мало похоже.

— Ну, пойдёмте на тот берег.

Вода в Кастарме была не слишком высокой, поэтому брод долго искать не пришлось.

Место, которое шаман выбрал для своего чума, было просто замечательным, оно заметно отличалось от общей таежной монотонности нешироких саянских распадков. Ощущением перспективы? Простора? Пространства? Бесконечности? Вечности? Река, смешивающаяся в одном потоке метафоры времени и пространства, делает петлю, и узкая долина превращается в некое подобие «амфитеатра», в центре которого — лесистый пригорок, некогда увенчанный шаманским чумом. Сейчас от него не осталось и следа, но Пугачев в молодости встречался с людьми, которые помнили этого шамана.

Если кто-то из тофов чувствовал, что «жизнь дала трещину» — охота плохая, девки не любят, мужики смеются, с родителями проблемы, и от этих переживаний у него, к примеру, рожа пятнами пошла (психосоматика, понимаете ли!), то седлал он оленя и ехал сюда, к шаману Кастармы. Излагал ему свои беды как можно подробнее. Шаман слушал, возможно как-то комментировал, следом начинал камлать, обращаясь к богу Кастарма, представлял ему этого человека и просил помочь.

Потом наступала ночь. Переживший стресс «клиент» ночевал в шаманском чуме, а наутро хозяин велел ему погулять по берегу и выбрать себе из кастарминских камешков тот, который ему как-то приглянется, покажется притягательным своей формой.

«Если кто пройдёт около озера, Кастарма сделает его фигурку, и её можно найти на следующий день», — так записал Борис Чудинов в то время, когда на другом краю света некто Карл Юнг еще только разрабатывал основы теории бессознательного. Тот, кто с ней знаком, догадается, что дух озера лепил не скульптурный портрет «пациента», а ваял из глины его бессознательное, «темную» сторону личности этого человека, проявляющуюся в вытесненных комплексах и подавленных переживаниях. «Пациент», руководствуясь ассоциациями, в которых визуально объективировались его комплексы и фобии, наутро «узнавал» свою альтернативную сторону лежащей среди прочих камней, подбирая ее, и цельность его внутреннего мира восстанавливалась. А камешек этот, принявший на себя часть его забот, становился талисманом.

Поскольку талисман преподносил сам бог Кастарма, а не продавец лавки эзотерических украшений, то и психотерапевтический эффект был более очевидным.

Такой вот тофаларский психоанализ. Возникший, кстати, за несколько тысячелетий до того, как в своем венском «чуме» на речке Дунай начал «камлать» великий «шаман» новейшей истории Зигмунд Фрейд.



Нужно переходить на другой берег. Пока ищем брод, попадаем на одно из месторождений «конкреций». Сначала не видим ничего особенного: ну, грязь себе и грязь. Но, приглядевшись, прямо на ее поверхности в разных местах мы увидели как бы сгустки, выделяющиеся из аморфной массы не цветом, а правильной формой. Действительно, как будто кто-то их из этой глины вылепил и оставил. Попробовали один камешек взять: дался легко, но все же с некоторым усилием, как будто его не подобрали, а сорвали, как цветок. Камешек оказался похож на летающую тарелку. А другой — на кота с мячиком. А вон тот — на эскимоса из мультфильма...

— Много камешков для вас бог Кастарма приготовил, — улыбается Пугачев. — Значит, с добром сюда пришли. Есть такое поверье. Сколько лет я их собираю, а они каждый год за зиму заново вырастают. У меня своя точка зрения относительно их происхождения имеется. Думаю, что они появляются зимой, когда вода замерзает, а лед своим колоссальным давлением в этой глине их и формирует.

Идея сгустка, конкреции — формы, берущейся из тотальной аморфности — сама по себе креативна. Представления о космогоническом системообразующем цикле как о процессе сгущения, кристаллизации, структуризации характеризует архаический мифологический пласт азиатских кочевников.

Исследователи И. В. Октябрьская и Д. В. Черемисин обращают внимание на единство принципа глобального созидания в предметно-практической и космологической сферах традиционной культуры: «Рефлексируя





по поводу технологий, традиционное мировоззрение, с присутствием ему целостным подходом к миру, постулирует единство созидательного начала во Вселенной и принципиально связывает орудийную и космогоническую сферы. В нарративах Центральной Азии начало мира описывается как процесс пахтания, взбалтывания, скручивания, сбивания» (Октябрьская, Черемисин, 2000).

По всей вероятности, культ «костырма» воспроизводит архетипические представления о космогоническом статусе предметов и явлений, ассоциирующих жизнь с принципом системного порядка (Алкин, 1998).

Семантический аналог «костырма» в культурах Восточно-Азиатского региона представляют *магатама* — ритуальные артефакты культа зародышей в концепции восточно-азиатского креационного архетипа.

Смысловые креационные параллели прослеживаются в сознании народов разных языковых семей, как это следует из сравнительных лингвистических и мифологических реконструкций, и акцентируют исходный принцип построения системы — бинарную оппозицию

«формы/аморфности». В качестве примера можно привести анализ группы понятий, описывающих широкий спектр таких креативных действий, включающих зачатие, как работу с глиной в афроазиатских языках (Милитарев, 1986).

В индоевропейских языках креативное, порождающее действие (включая зачатие) также находится в семантическом тождестве с завязыванием узелков, актом связывания, скручиванием вообще: *w'az* — вязать (в смысле оплодотворить), завязь (плода, бутона), связывать; *xvit* — жить (лат. *vita* — жизнь), повивальный (родительный), вить, свивать. Это также сохранилось и в обрядах культа жизненных сил.

«В троице-семицкой обрядности само действие по завиванию, завязыванию венков из ветвей березы на ней самой, входя в широкий семантический ряд действий и понятий с корнем *xvit-*, изначально являлось, по-видимому, магическим актом, призванным дать начало новой жизни (сравнить с глаголом «завязать»). Есть свидетельства информаторов, что тряпочки, или ленточки на ветвях завязывались женщинами с целью зачатия.



Название венка «животом» в песнях вполне согласуется с этим кругом представлений» (Денисова, 1996).

В современном русском языке глагол «вязать» сохраняет значение креативного действия, также распространяющегося на воспроизводство биологических структур: «вязать собак», «завязь плода» и т. п. Аналогичное значение имеет и японский глагол *мусубу* («вязать», «связывать», «завязывать», «оплодотворять»).

В силу креативных ассоциаций слово *мусубу* вошло в пласт сакральной лексики и даже легло в основу названия целого класса богов-креаторов «*мусуби-но ками*», фигурирующих в японской мифологии в качестве персонифицированной созидательной силы (Светлов, 1985).

В айнском языке семантическим аналогом *мусубу* является глагол *нау* («скручивать»). Возможна его связь со словом *инау*, обозначающим один из наиболее популярных ритуальных артефактов айнов — заструганные палочки, которые, по мнению Л. Я. Штернберга и других исследователей, были антропоморфны и происходили из символических заменителей человеческих жертвоприношений, т. е. являлись знаковым кодом жизненных сил (Штернберг, 1929).

Фактор системного порядка составляет квинтэссенцию космогонического процесса. Е. М. Мелетинский и В. Н. Топоров, рассматривая проблему социогенеза сознания через мифологию, пришли к выводу, что процесс выделения сознания «из диффузной нерасчлененности аффектно-моторной среды» характеризуют понятия, возникающие как «сгустки мысли», взаимодействующие между собой и складывающиеся в структуры.





Таким образом, системный порядок, воспроизводимый мифом и ритуалом, является исходной категорией человеческого сознания, запечатленную во вполне материальных знаках и символах — ритуальных артефактах (Банников, 1999).

Архетипы системного порядка проецируются в индивидуальном сознании как системные понятия и закрепляются в мировоззрении посредством набора ассоциаций и смысловых значений, тем самым «конвертируя» фундаментальные структуры сознания и праязыковые этимоны в ритуальную протопластику.

Видимо, сама идея системного порядка, заложенная в основы шаманской лечебной практики, врачует душу конкретного человека, впавшего в смятение. И не просто идея, а действенная вовлеченность человека в упорядоченную, существующую по неким высшим и абсолютным законам, систему. Способ же этого вовлечения определяется всей социальной историей, религиозной традицией и их взаимным влиянием друг на друга.

Когда человек уже думает, что мир рушится, его целителю — будь то шаман или психоаналитик — очень важно убедить пациента в том, что рушится не мир, а всего лишь его представления о мире. И не факт, что эти представления истинные. Мир-то никуда на самом деле не исчез, его конструктивные законы по-прежнему действуют, и более того — их подопечный ими не обделен. Иначе стал бы бог Кастарма всю ночь лепить амулет тому, кто этого не заслуживает?

И вот он — воплощенный в чудесных и забавных камешках, креационный, системообразующий принцип мироздания. Всегда перед глазами — на одежде, на поясе, на сбруе. Носи, где хочешь! Кто знает, если бы жил сейчас в Тофаларии такой шаман, и приходили бы к нему люди, может, и самоубийств среди молодежи было бы поменьше. Раньше, когда тайга представлялась живым и одушевленным организмом, человек, считавший себя ее частью, ценил свою жизнь намного выше.

Еще лет сто тому назад сакральная ценность кастарминских камней придавала им значение всеобщего эквивалента при меновой торговле с соседями тофаларов. Известно, что буряты получали «костырма» в обмен на

ездовые и грузовые олени сёдла, украшенные белым металлом, на лошадей, войлок, металлические украшения и другие ценные вещи, не изготавливаемые тофаларами, но используемые ими в хозяйстве (Мельникова, 1994).

Символ абстрактной жизненной силы превращался в почти денежный эквивалент вполне конкретных экономических основ жизнеобеспечения.

Но настали другие времена, принесшие народу другие ценности и другие их эквиваленты, а с ними — новые проблемы. «Волшебные» же камешки постепенно утратили все свои значения, включая и магическое. Какое-то время они еще служили украшением поясов и кисетов,

их носили вместо пуговиц, дарили детям как игрушки. Уже в 1910 г. столичный этнограф В. Н. Васильев, написав несколько строк о «костырма», свысока бросает: «...не буду распространяться о детских игрушках...» (Васильев, 1910). А сейчас повзрослевшие дети могут разве что вспомнить о них, да и то с трудом.

— Кастарминские камешки? Знаю, как же. В детстве мы ими играли, — вспоминает Маргарита, дочь Спартака Дмитриевича Хангараева. — Отец, бывало, принесет, а мы их разложим и выясняем, на что какой камешек похож. Этот на будильник, тот на телевизор... А сейчас наши дети ими уже не играют: других игрушек у них много — фабричных.

Современные тофалары не видят в забавных камешках ничего магического. Во всей Тофаларии в силу «костырма» верит и знает, что эти фигурки представляют собой часть древней, исполненной смыслов культуры, пожалуй, лишь один краевед Пугачев. Он — ее хранитель. И культура края платит ему тем же — хранит его. Это видно по светлой мудрости, рассудительности, красноречию и энергии «молодого лося», с которой Михаил Иванович в свои семьдесят четыре года целый месяц гонял нас, новосибирских археологов, по горной тайге.

В статье использованы фотографии К. Банникова



Алкин С. В. Архетип зародыша в восточной мифологии // Архетипические образы в мировой культуре (Материалы конференции). — СПб., 1998.

Банников К. Л. Архаические мифоритуальные системы в формировании и развитии традиционной японской культуры. — М., 1999.

Васильев В. Н. Краткий очерк быта карагасов // Этнографическое обозрение. — М., 1910. — Кн. 84–85. — № 1–2.

Денисова И. М. Обрядность троицкой березки: поиски семантических корней образа // Животные и растения в мифоритуальных системах. — СПб., 1996.

Мельникова Л. В. Тофы. Историко-этнографический очерк. — Иркутск, 1994.

Милитарев А. Ю. Происхождение корней со значением «творить, создавать» в афразийских языках // Письменные памятники и проблемы истории культуры народов Востока (ППШКНВ). XIX годовичная научная сессия ЛО ИВ АН СССР (доклады и сообщения). — М., 1986. — Ч. III.

Чудинов Б. И. Путешествие по Карагассии. — М.: Молодая гвардия, 1931.



Этот преданный преданный друг человека

В шаманском гимне точно отражены: и назначение собаки, и характерное поведение, и ее внешность — пышный хвост, бархатистая, обычно черной масти шерсть, белые пятна на груди и шее (в оригинале «мухортая собака» — «калдар», что значит белые пятна на черном фоне), свалывшиеся в войлок клочья шерсти за ушами («серьги»). Можно только добавить, что уши у тувинских собак висячие, плотно прижаты к голове. Когда в Туве появились европейские собаки со стоячими ушами (вероятно, привезенные советскими военными), местные жители удивлялись: «Глядите, какие у собаки уши, как у лошади».

В центре Азии найдена древняя порода собак — тувинская овчарка

Илья ЗАХАРОВ

«...Ты преданна своему хозяину.  
Лежишь у порога, ведя службу охраны юрты.  
Ты, собака, хранительница верная стоянки,  
Ведешь наблюдение над стадом домашнего скота.  
Стоишь там скрыто, куда мог бы явиться волк по тропе.  
Чуть заметишь шорох, сразу киваешь головой и лаеешь.  
Лежишь там крепко, закрывая всем телом дорогу беды...  
Хвост твой красуется мохнатым гнездом дивно,  
В твоих ушах серьги чудны и зрелищны.  
Мухортая собака, шерсть у тебя темна и бархатна.  
Ищу твою душу и зову твою душу, запевая свои алгыши.  
Стою и пою, призывая собачью душу своими алгышами».

(Из сборника шаманских гимнов, собранных и переведенных М. Кенин-Лопсаном)

Известно, что разрушение человеком среды обитания нанесло огромный урон биологическому разнообразию. Предполагается, что за последнее столетие с лица Земли исчезло до 25 тысяч видов высших растений и более 1 тысячи видов позвоночных животных. Процесс сокращения биологического разнообразия не ограничивается дикой флорой и фауной: по подсчетам специали-

Первые московские «дети». Фото И. А. Захарова



ЗАХАРОВ Илья Артемьевич — доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, с 1992 г. заместитель директора Института общей генетики РАН, профессор МГУ. Автор около 200 статей и 12 книг. Область научных интересов — генетика животных, эволюционная генетика, история генетики



Животноводы, у которых рос Мугур, будущий чемпион России. Фото И. А. Захарова



Фото С. Каштановой



Фото И. Семенова



Фото И. Семенова

стов, в мире каждые 2 недели исчезает 3 породы домашних животных! В России еще 10 лет назад из 63 зарегистрированных пород крупного рогатого скота и лошадей 35 % находилось под угрозой исчезновения, сейчас многие из них уже не существуют. В этих условиях найти сохранившейся какую-то до сих пор неопisanную местную породу кажется невероятным.

Каково же было наше удивление, когда в трудно доступных горных районах Тувы мы встретились с собаками неизвестной породы (точнее, породной группы или местной популяции). Заинтересовавшись, занялись сбором сведений о тувинской собаке. Поскольку оказалось, что на сегодняшний день сохранилось буквально считанное количество животных этой породы, сделали все (создали прямо при нашем институте в Москве питомник «Монгун-тайга») для того, чтобы сохранить ее генофонд. С надеждой



*«...Собака смелая, крупная, мощная. Отличается пропорциональным сложением. Обладает высокой подвижностью и выносливостью. Чистоплотная, неприхотливая, хорошо приспособлена к резким перепадам температуры (от минус 50 градусов зимой до плюс 40 летом). В юрту приучена не заходить. Щенки появляются зимой, живут в снегу или земляных норах. Характер твердый, спокойный, но недоверчивый к посторонним. Не навязчива в отношениях с хозяином. Поведение уверенное, независимо-спокойное. В местах исконного обитания использовалась для охраны юрты и стада от волков. На охраняемой территории постоянно отслеживает и контролирует все передвижения; в спокойной обстановке быстро расслабляется».*

*(Из научного отчета участников экспедиции в Туву ИОГ им. Вавилова РАН)*

Дозара в Москве.  
Фото И. А. Захарова

в дальнейшем, — если в Туве сложатся условия и найдутся энтузиасты, — попытаться вернуть овчарку на родину.

Как же это случилось, что воспетое в священных гимнах животное — собака-сторож, без которой жизнь пастуха-кочевника немыслима, вдруг стала никому не нужна и исчезла из аалов тувинцев?!

И тут урок естествознания придется прервать уроком истории. — До 1944 года Тува была самостоятельным, хотя и находящимся под влиянием СССР государством. Тувинцы долго продолжали вести традиционный кочевой образ жизни, занимаясь в основном животноводством. В 50-е годы началось насильственное сселение животноводов в поселки.

В каждой семье пастухов было несколько собак, пасших скот, охранявших территорию вокруг юрты. Собрать их всех в поселке было невозможно; оставляли на местах бывших стойбищ, а то и отстреливали. Тем не менее, примерно, до 80-х годов тувинские овчарки были еще достаточно многочисленны. То, что

Эта собака победила волка.  
Фото И. А. Захарова

они сейчас почти исчезли, было вызвано несколькими причинами. Первая и главная — безразличие: нам не удалось встретить ни одного любителя, который бы сознательно занимался разведением тувинских собак... Наконец, распространение ядов, которые разбрасывают для уничтожения расплодившихся (в отсутствие собак!) волков. (Кстати, местные жители во время одной из поездок показывали нам тувинскую овчарку, которая храбро вступила в поединок с волком и загрызла его).

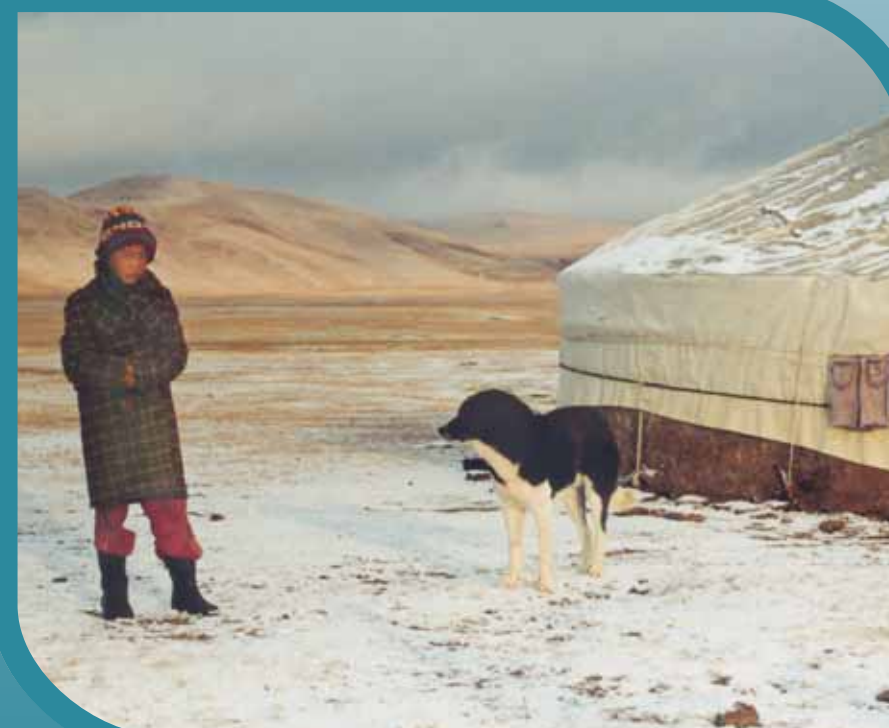
Было бы печально совсем потерять пастушескую собаку Алтае-Саянских гор. Ведь каждая порода домашних животных не только

обладает уникальным генофондом, обеспечивающим ее приспособленность к подчас нелегким условиям обитания, но и является частью культуры. Аборигенные породы — это живое культурное наследие, живые корни традиционного хозяйствования наших предков. Их образы питали фольклор и продолжают воплощать душу народа, его эстетические пристрастия и мироощущение. Поэтому местные породы домашних животных заслуживают столь же бережного к себе отношения, как и другие — материальные и духовные — памятники древних эпох.

В качестве новой породы, тувинская овчарка была представлена



Мугур с хозяином в Москве. Фото И. А. Захарова



«Девочка» Майнак в Москве. Фото С. В. Каштановой



Вместе с древними племенами, которые примерно 15–25 тысяч лет назад пришли из Сибири через Берингию (часть суши на месте нынешнего Берингова пролива) в Северную Америку, попали и собаки. Трудно сказать, были это уже вполне домашние животные или полудикие, но в любом случае данные эти представляют несомненный интерес. Археологи находили в Центральной Азии и кости крупных догообразных собак, возраст которых составлял около двух тысяч лет. Может быть, потомками тех первых помощников человека и являются «тувинские москвичи» Дозара и Кош.

Тыргак с хозяином на выставке. Фото И. А. Захарова



в Москве в 2001 году и затем неоднократно выставлялась на выставках Союза кинологических организаций России. 5 собак получили оценки «отлично». Привезенный из Монгун-Тайгинского кожууна (района) кобель по кличке Мугур (сейчас ему 5 лет) признан чемпионом России.

Почти все собаки, привезенные из Тувы, живут в семьях; хозяева отмечают их исключительные сторожевые качества, неприхотливость и ненавязчивость, устойчивость психики, неагрессивность по отношению к людям и к собакам вне охраняемой территории.

Есть ли будущее у тувинской овчарки? Нам кажется, что есть. Опыт содержания собак этой породы в Подмоскowie показывает, что это превосходный — для охраны дач и коттеджей — сторож. Кроме того, внешне тувинская овчарка достаточно сильно отличается от других родственных ей пород и своим очаровательным экстерьером не может не привлечь внимание собаководов-любителей. Наконец, на ее родине, в Туве, значительная часть населения занималась и будет заниматься животноводством, то есть хорошо приспособленные



«...В детстве меня, городского ребенка, родители каждое лето возили к родственникам мамы в Тес-Хем. Мы жили у бабушки на летней чабанской стоянке. Помню стада овец, коз, а также собак, которые вертелись у юрты. Среди разношерстной лающей команды выделялся громадный черный пес Костук. У него были рыжие лапы и подпалины на бровях, которые делали его похожим на четырехглазого умника. Он отличался не только своими размерами, но и дружелюбностью к членам семьи.

Я садилась перед псом на траву и говорила по-русски: «Привет! Дай лапу!». Костук улыбался по-собачьи, растянув пасть до ушей, вывесив язык, и охотно здоровался. Мне протягивалась большая грязная лапа, с которой сыпались крошки сухого навоза. Здороваться Костук мог хоть каждую минуту, застенчиво моргая влажными черными глазами. Бабушка выглядывала из дверного проема юрты, качала головой и, улыбаясь, по-тувински говорила: «Ну, надо же, в этом аале собаки по-русски начали говорить!». Сейчас я снова сижу перед собакой из моего детства и держу в руке большую лапу. Только находимся мы вдалеке от Тувы, в московской квартире в Ново-Переделкино, в семье биологов Сергея и Светланы Каштановых, сотрудников Института общей генетики РАН...»

Чимиза ДАРГЫН-ООЛ



Щенки Тыргак и Майнак. Фото И. А. Захарова

к местным условиям пастушеско-сторожевые собаки всегда будут там необходимы.

Труднодоступность горных районов, где еще сохранились аборигенные собаки, и сложность транспортировки их в Москву, делают задачу спасения тувинских овчарок в нашем питомнике очень нелегкой. И все-таки, если при нехватке средств, «на энтузиазме», мы все-таки сможем восстановить эту великолепную по-прежнему преданную людям породу, список потерь «культурного» биоразнообразия хоть и немного, но сократится. И гармонии в мире станет чуть больше.

