

# ПРИРОДА

2 14



**В НОМЕРЕ:****3 Якименко А.О., Свешникова А.Н.,  
Артеменко Е.О., Пантелеев М.А.****Этот загадочный тромбоцит**

О важности роли тромбоцитов в остановке кровотечения из раны известно уже более века. Недавно выяснилось, что при активации они разделяются на две субпопуляции. Их дальнейшее исследование, возможно, позволит влиять на регуляцию роста тромба и предотвращать развитие патологических процессов.

**9 Асадчиков В.Е., Бузмаков А.В.,  
Золотов Д.А., Якимчук И.В.****Микротомография – взгляд  
в невидимое**

Послойные рентгеновские снимки несут информацию о пространственной структуре объекта. И хотя рентгеновская томография на микроуровне пока остается научной методикой, она начинает применяться и на практике.

**17 Новости науки**

Международный год кристаллографии стартовал!

**18 Иваницкий В.В., Марова И.М.,  
Антипов В.А.****Алгебра и гармония  
в песне восточного соловья**

Расследуя секреты привлекательности соловьиного пения, авторы выяснили, что все дело в тех специфических особенностях, которые ближе нашему восприятию акустической информации и могут быть обработаны мозгом человека.

**28 Мац В.Д., Гранина Л.З., Ефимова И.М.****Байкальский рифт: на пути к океану**

Особенности строения Байкальской впадины, вещественный состав ее донных отложений и протекающие в них физико-химические процессы свидетельствуют о том, что озеро находится на пути превращения в океан.

**39 Мурзин Ю.А.****Вечная мерзлота  
в долине реки Кючюс**

На севере Якутии из-за крайне суровых климатических условий широко распространена многолетняя мерзлота. Благодаря геокриологическим работам стало известно, какова мощность подземной ледяной толици, насколько опускается температура горных пород и какими катаклизмами грозит развитие термокарста в речной долине.

**45 Гончаров Н.П., Сормачева И.Д.****Доместикация пшениц**

Как появились разнообразные культурные виды пшеницы? Изучение механизмов возникновения морфологических изменений в ходе доместикации с помощью методов молекулярной биологии позволило предложить возможный сценарий вовлечения в селекцию признаков, отличающих дикорастущие растения от культурных.

**54 Смирнова О.В., Алейников А.А.,  
Смирнов Н.С., Луговая Д.Л.****Пионовая тайга**

Справедливо ли наше представление о северных лесах как об угрюмой тайге, где не видно ни высоких красивых трав, ни полей, ни ярких цветов? Что представляют собой высокотравные таежные леса и каким был доисторический облик тайги? Оценка биологического разнообразия лесных сообществ дает ответы на эти вопросы.

**64 Корякин В.С.****Плавания В.Баренца  
в свете космической информации**

Один из участников экспедиций В.Баренца оставил потомкам уникальные дневники. Их полное русскоязычное издание увидело свет в 2011 г. Теперь мы можем переоценить многие события тех плаваний, узнать, как поморы встречали иностранцев, и наконец, проследить, какие изменения произошли в Арктике за четыре столетия.

**71 Щербаков Р.Н.****Триада творчества великого Галилея  
К 450-летию со дня рождения****Заметки и наблюдения****82 Колбин В.А.****Оляпка: жизнь пернатого водолаза****Рецензии****87 Михайлов К.Г.****Естественная история  
и история Отечества**

(на кн.: Приключение жизни  
Виктора Ивановича Мочульского)

**90 Новые книги****В конце номера****92 Портнов А.М.****Как «ослеп» Гомер**

## CONTENTS:

- 3** **Yakimenko A.O., Sveshnikova A.N., Artemenko E.O., Pantelev M.A.**

### **This Mysterious Platelet**

The significance of platelet role in cessation of bleeding from a wound is well known for more than one century. It was recently shown that upon activation platelets divide into two subpopulations. Further research may allow us to influence the regulation of thrombus growth and prevent pathological processes.

- 9** **Asadchikov V.E., Buzmakov A.V., Zolotov D.A., Yakimchuk I.V.**

### **Microtomography: A View into Invisible**

A layered X-ray snapshots contain information on spatial structure of an object. And while X-ray tomography at microscale level still is a scientific technique it already begins to be applied in practice.

- 17** **Science News**

International Year of Crystallography Begins!

- 18** **Ivanitzky V.V., Marova I.M., Antipov V.A.**

### **Algebra and Harmony in the Song of Oriental Nightingale**

Investigating secrets of attractiveness of nightingales singing, the authors have found that it stems from its specific features that are more close to our reception of acoustic information and can be processed by our brain.

- 28** **Matz V.D., Granina L.Z., Efimova I.M.**

### **Baikal Rift: On a Path to Ocean**

Structural Features of Baikal depression, material composition of its bottom sediments and physicochemical processes taking place in them indicate that the lake is on the path to transformation into an ocean.

- 39** **Murzin Yu.A.**

### **Permafrost in Kyuchus River Valley**

To the north of Yakutia the permafrost is widespread because of extremely severe climate conditions. Due to geocryological studies we know the thickness of underground ice, the temperature of the rocks and what catastrophic events can be triggered by development of thermokarst in the river valley.

- 45** **Goncharov N.P., Sormacheva I.D.**

### **Domestication of Wheat Species**

How the diverse wheat species came into being? The studies of mechanisms of morphological changes in the course of domestication by methods of molecular biology allows to suggest a possible scenario of involving into selection the features which distinguish the wild plants from the cultured ones.

- 54** **Smirnova O.V., Alejnikov A.A., Smirnov N.S., Lugovaya D.L.**

### **Peony Taiga**

Is our picture of northern forests as a gloomy taiga where one can see neither high beautiful grasses, nor glades or bright flowers, correct? How do high-grass taiga forests look like and what was prehistoric image of taiga? Estimates of biologic diversity of forest ecosystems answers these questions.

- 64** **Koryakin V.S.**

### **Expeditions of W.Barentsz in the Light of Satellite Information**

One member of the Barentsz expeditions has left for posterity unique diaries. Their complete Russian language edition was published in 2011. Now we can reassess many events of these expeditions, learn how pomors greeted foreigners and, at last, follow what changes took place in Arctic during four centuries.

- 71** **Shcherbakov R.N.**

### **Triad of Great Galileo Creation To 450th Anniversary**

## Notes and Observations

- 82** **Kolbin V.A.**

### **Dipper: Life of Feathered Diver**

## Book Reviews

- 87** **Mikhailov K.G.**

### **Natural History and History of the Country** (on book: Life Adventure of Viktor Ivanovich Mochulsky)

- 90** **New Books**

## In the End of the Issue

- 92** **Portnov A.M.**

### **How Homer «Got Blind»**

# Этот загадочный тромбоцит

А.О.Якименко, А.Н.Свешникова, Е.О.Артеменко, М.А.Пантелеев

Важнейшую роль тромбоцитов в живом организме открыл итальянский врач и патолог Джулио Биццоццо, который в 1882 г. провел ряд блестящих экспериментов, имея в своем распоряжении лишь световой микроскоп. Сегодня у нас куда больше измерительных приборов и вычислительных машин, выполняющих сложнейшие математические расчеты, однако множество вопросов остаются открытыми. Известно, что тромбоциты играют ключевую роль в остановке кровотечения из раны (гемостазе\*) и опасном перекрытии здорового сосуда (тромбозе). Однако до сих пор неясно, как именно функционирует система гемостаза. Какие причины приводят к ее переключению с защиты организма на развитие угрожающих жизни патологий? Какова роль тромбоцитов в регуляции процессов гемостаза и тромбоза? Не знаем мы, и зачем тромбоциты устроены так сложно, и не представляем всю последовательность событий, обеспечивающих формирование тромба в месте повреждения, а экспериментальные данные приносят с собой новые загадки.

\* Подробнее см.: Баландина А.Н., Пантелеев М.А., Атауллаханов Ф.И. Система свертывания крови и ее регуляция // Природа. 2011. №3. С.32–38.

© Якименко А.О., Свешникова А.Н.,  
Артеменко Е.О., Пантелеев М.А.,  
2014



**Алена Олеговна Якименко** (вторая слева), кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Центра теоретических проблем физико-химической фармакологии (ЦТПФХФ) РАН. Область научных интересов — свертывание крови, механизмы тромбообразования, субпопуляции активированных тромбоцитов крови человека.

**Анастасия Никитична Свешникова** (крайняя справа), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. Научные интересы связаны с компьютерным моделированием биологических процессов, изучением внутриклеточной сигнализации, биохимии свертывания крови.

**Елена Олеговна Артеменко**, научный сотрудник ЦТПФХФ РАН. Занимается исследованием реорганизации цитоскелета тромбоцитов при активации и механизмов, приводящих к формированию прокоагулянтных активированных тромбоцитов.

**Михаил Александрович Пантелеев**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией молекулярных механизмов гемостаза ЦТПФХФ РАН. Лауреат премии имени Р.В.Хохлова (2002) и премии Европейской академии (2007). Область научных интересов — механизмы регуляции гемостаза и тромбоза, биохимия и биофизика свертывания крови, математическое моделирование биологических систем.

## Строение

Тромбоциты (от греч.  $\theta\rho\omicron\upsilon\beta\omicron\varsigma$  — сгусток и  $\kappa\upsilon\tau\omicron\varsigma$  — клетка) — специализированные безъядерные клетки крови, имеющие форму диска диаметром около 3 мкм и толщиной около 0.5 мкм (рис.1). Образуются они при фрагментации больших клеток костного мозга — мегакариоцитов и циркулируют в кровотоке в концентрации 200—400 тыс. клеток в 1 мкл крови. Живут тромбоциты в кровотоке в среднем 5—9 дней, а затем разрушаются в селезенке и печени.

Устроен тромбоцит довольно сложно. Снаружи он ограничен билипидным слоем мембраны, многочисленные впячивания которой (открытая канальцевая система) дают запас поверхности для изменения формы (рис.2). Поддерживает ее и одновременно позволяет сильно менять цитоскелет (каркас) клетки. Внутри находятся эндоплазматический ретикулум (хранилище ионов кальция, необходимых для сигнализации и выполнения тромбоцитом своих функций) и митохондрии (органеллы, обеспечивающие дыхание). В цитозоле присутствуют гранулы, содержащие вещества, выплескивающиеся при активации клетки (переходе в новое состояние) во внеклеточное пространство. В плотных гранулах содержатся нуклеотиды (АТФ, АДФ, ГТФ, ГДФ), серотонин, ионы кальция в высокой концентрации, в  $\alpha$ -гранулах — различные белки (в том числе факторы свертывания крови), а в лизосомах — некоторые ферменты (коллагеназа, эластаза и др.).

После активации тромбоцита на внешней поверхности его мембраны появляется отрицательно заряженный липид — фосфатидилсерин. С ним с помощью ионов кальция связываются некоторые факторы свертывания, формируя специальные комплексы. Они во много раз ускоряют реакции, приводящие к желированию плазмы крови

у места повреждения (этот процесс называется плазменным гемостазом). Иными словами, фосфатидилсерин обеспечивает прокоагулянтную, способствующую плазменному гемостазу, функцию тромбоцитов.

Почему же век этих клеток крови столь недолог (эритроциты, например, живут три-четыре месяца), ведь в норме, в отсутствие серьезных повреждений сосудов, они практически не работают? Почему они имеют вид дисков? Зачем тромбоциту митохондрии, если его энергетические расходы крайне скромны? Зачем природе понадобилось ускорять реакции плазменного свертывания на клеточных мембранах? Для чего  $\alpha$ -гранулы содержат белки свертывания, которые есть и в плазме крови? Это только некоторые из вопросов, не имеющих пока четких ответов.

## Активация

Для выполнения своей основной функции — заделывания повреждения в стенке сосуда — тромбоциты должны перейти в активное состояние. Как и у большинства клеток нашего организма, этот процесс протекает по следующей схеме: сигнал — рецептор — внутриклеточный сигнал — усилитель — регулятор — ответ (рис.3). Сигналом к активации служит появление в кровотоке агониста — специальной сигнальной молекулы, которая должна появляться только при необходимости и связываться со специфической молекулой, пронизывающей мембрану тромбоцита (рецептором). Агонист взаимодействует с одним «хвостом» рецептора, выступающим снаружи, и это приводит к изменению другого, со стороны цитозоля, где появляется следующая сигнальная молекула — вторичный мессенджер. Он запускает синтез еще нескольких мессенджеров, те, в свою очередь, —

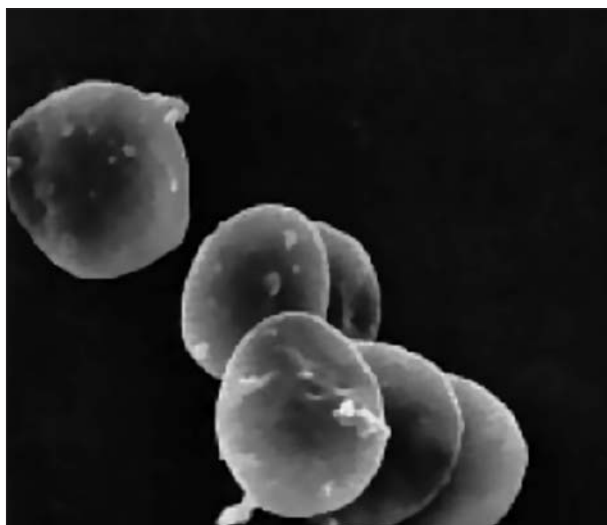


Рис.1. Микрофотография неактивированных тромбоцитов [1].

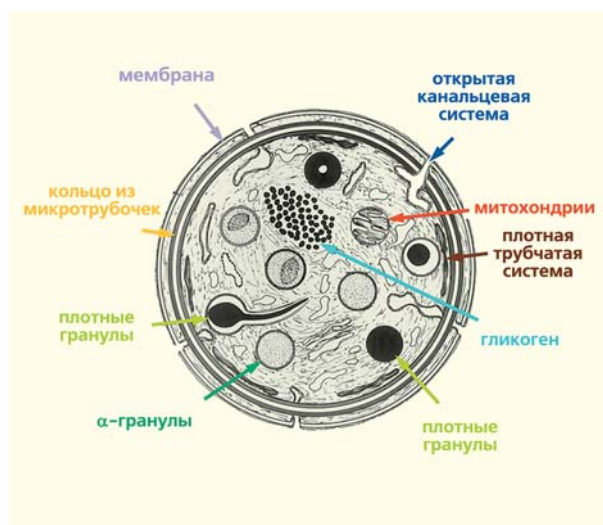


Рис.2. Схема строения тромбоцита [2].

еще нескольких, и так сигнал распространяется в цитозоле и усиливается с помощью каскада внутриклеточных реакций, что в конечном итоге приводит к комплексному ответу тромбоцита. Важно, что в тромбоците существуют специальные регуляторные системы, модулирующие концентрации внутриклеточных мессенджеров на разных этапах активации, чтобы, например, не было реакции на следовые количества агониста.

Как же эта схема реализуется в нашем организме? В сосудах тромбоциты выталкиваются эритроцитами из основного потока и движутся вдоль стенок, проводя своего рода мониторинг их состояния. Одним из первых сигналов к активации тромбоцитов становится коллаген — основной белок соединительной ткани, обнажающийся при повреждении сосуда. Обнаружив коллаген, они связываются с ним через специальные рецепторы, одновременно активируясь и прочно прикрепляясь к месту повреждения. Взаимодействие тромбоцита с коллагеном и ведет к запуску упомянутого внутриклеточного сигнала и появлению в цитозоле вторичного мессенджера — инозитолтрифосфата (ИФ<sub>3</sub>). Эта маленькая водорастворимая молекула способна быстро передвигаться в цитозоле и служит сигналом к выходу ионов кальция из внутриклеточных хранилищ. А повышение его внутриклеточной концентрации может приводить к разнообразным ответам тромбоцита: выплескиванию содержимого гранул (секреции), изменению формы, прикреплению к стенке сосуда (адгезии), скреплению с другими тромбоцитами (агрегации), появлению прокоагулянтной активности (рис.4). После того, как кровеносная система уже распознала повреждение сосуда, в крови появляются еще три природных активатора тромбоцита — тромбин, АДФ и тромбоксан А2. Белок тромбин образуется из предшественника, протромбина, в плазме крови, но массово — уже на мембранах активированных тромбоцитов. При секреции их плотных гранул выбрасывается большое количество АДФ (маленькая молекула, выполняющая в клетках в основном энергетические функции), и гораздо меньше АДФ высвобождается из поврежденных клеток эндотелия, выстила-

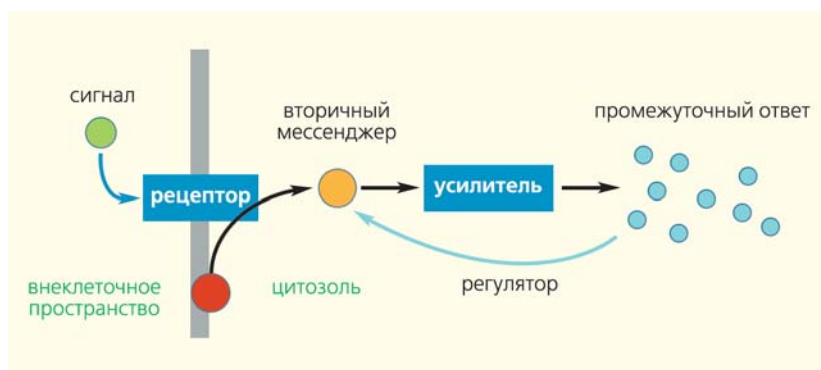


Рис.3. Схема активации тромбоцита.

ющего внутреннюю поверхность сосудов. Из арахидоновой кислоты, находящейся в мембранах активированных тромбоцитов, синтезируется тромбоксан А2. Связывание этих активаторов со своими рецепторами на мембране тромбоцита приводит, как и в случае с коллагеном, к появлению ИФ<sub>3</sub> в цитозоле и повышению в нем концентрации кальция (рис.4). Таким образом, все три растворимых активатора и коллаген действуют по одному пути, однако вызывают разные тромбоцитарные ответы. Например, тромбоксан А2 провоцирует выброс плотных гранул, а АДФ — нет. Активация отдельно коллагеном или тромбином вызывает все перечисленные ответы одновременно, а совместно — приводит к появлению группы прокоагулянтных тромбоцитов и синтезу тромбина на их мембранах. Видимо, существуют еще недостаточно изу-

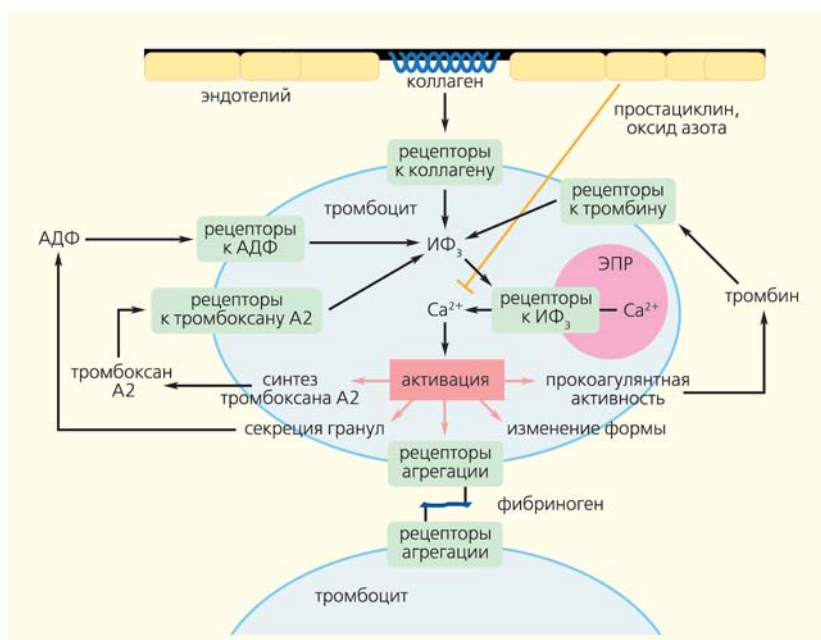


Рис.4. Схема основных путей активации тромбоцита и его ответных реакций: АДФ — аденозиндифосфат, ИФ<sub>3</sub> — инозитолтрифосфат, ЭПР — эндоплазматический ретикулум.

ченные различия в сигнализации, запускаемой разными агонистами. Чтобы случайная активация не превращала тромбоцит в настоящую «бомбу», несущуюся в кровотоке и запускающую всю систему свертывания, в организме неповрежденные клетки эндотелия постоянно выделяют простагландин и оксид азота, которые блокируют активацию клеток, препятствуя повышению в них концентрации кальция.

Сигнализация — один из самых сложных и плохо изученных разделов в исследовании тромбоцитов. По устройству каждого рецептора и сигнального пути существует множество вопросов, и самый простой из них: зачем вообще столько активаторов?

### Цитоскелет и изменение формы

Цитозоль тромбоцита пронизан трехмерной сетью из водонерастворимых белковых нитей (филаментов), которая формирует цитоскелет. Филаменты состоят из полимеризованного белка

актина и обеспечивают изменение формы тромбоцита при активации. Кроме того, непосредственно под плазматической мембраной находится мембранный скелет, связанный с цитоплазматическими «хвостами» некоторых рецепторов. Состоит он из коротких актиновых филаментов, соединенных друг с другом с помощью специальных белков. Мембранный скелет не только поддерживает плазматическую мембрану, регулируя контуры клетки, и стабилизирует ее, предотвращая фрагментацию, но и регулирует распределение в плоскости мембраны рецепторов, прикрепленных к нему. Также предполагают, что он играет важную роль в регуляции различных внутриклеточных событий, которые запускаются при активации.

Интересно, что цитоскелет — структура динамичная, благодаря которой тромбоцит может не только менять форму, но и отращивать «щупальца» (филоподии). С их помощью он расплывается по поверхности поврежденного сосуда (рис.5) и легче прилепляется к другим тромбоцитам (рис.6). Относительно недавно было обнаружено,

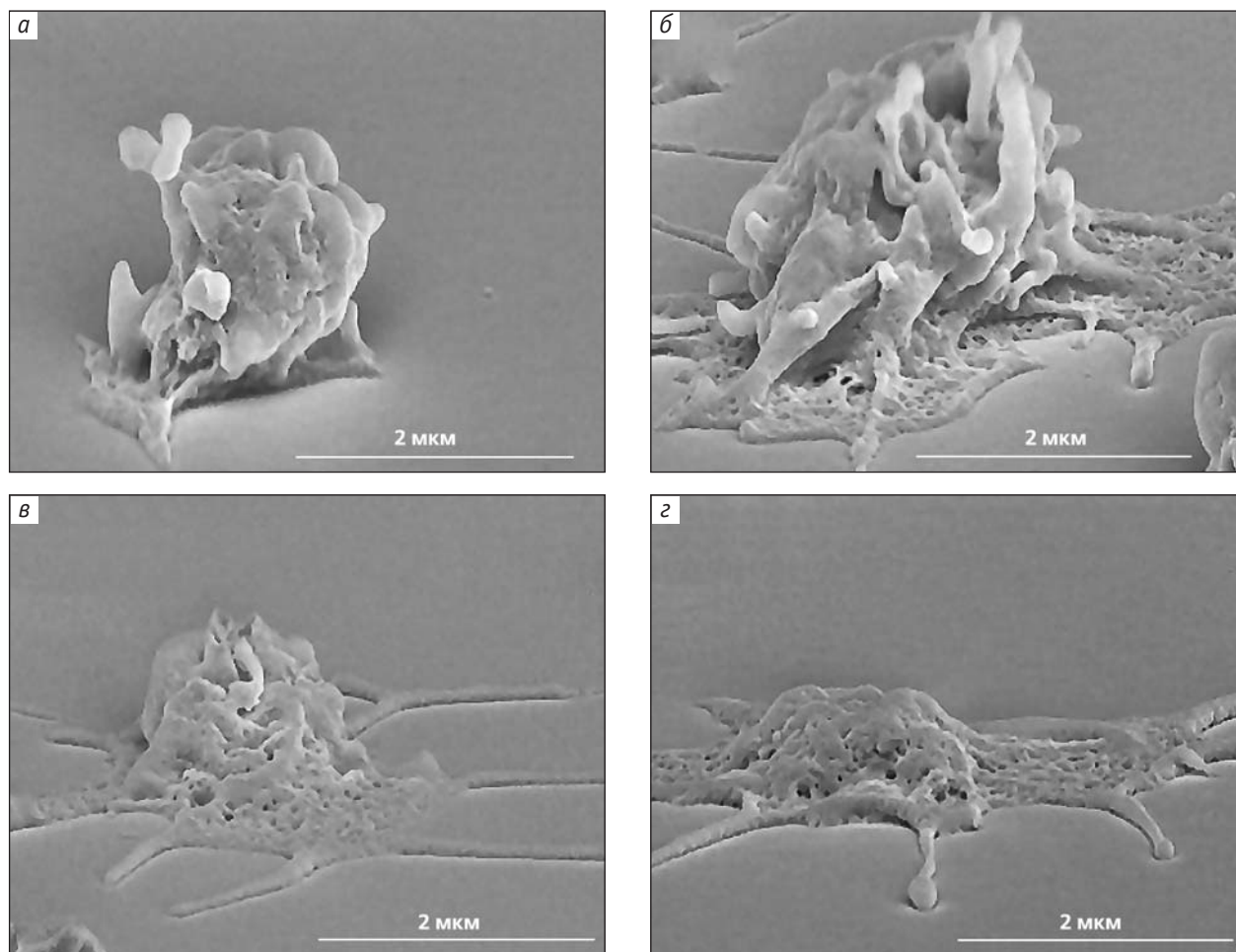


Рис.5. Сканирующие электронные микрофотографии процесса расплывания активированного тромбоцита (а—г) по поверхности [3].

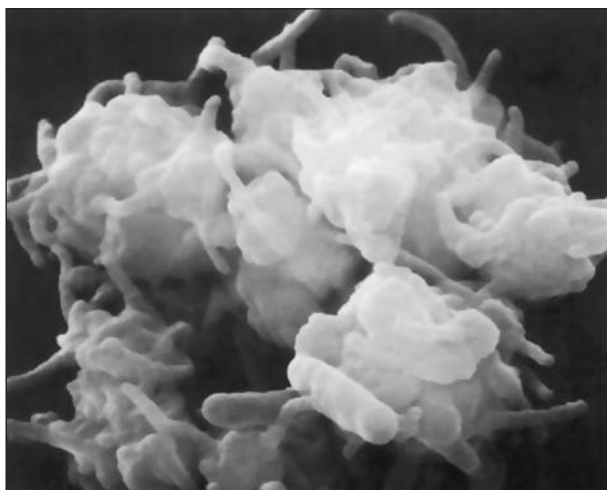


Рис.6. Сканирующая электронная микрофотография агрегата тромбоцитов [4]. Увел.  $\times 11.5$  тыс.

что при сильной активации (одним тромбином или вместе с коллагеном) тромбоциты разделяются на две группы (субпопуляции), сильно отличающиеся по свойствам и даже форме, что предполагает принципиально разную организацию в них цитоскелета. Одни из них («обычные» активированные) имеют вид амёб — комков с филоподиями, другие (прокоагулянтные, так как на внешней поверхности их мембраны много фосфатидилсерина) — шариков без «щупалец». Полученные в нашей лаборатории данные свидетельствуют о том, что некоторые мембранные рецепторы, отвечающие за связывание клеток с поверхностью и друг с другом, у тромбоцитов из двух субпопуляций неодинаково прикреплены к цитоскелету. А это значит, что они могут по-разному взаимодействовать с поврежденной сосудистой стенкой и друг с другом в формирующемся тромбе.

Последовательность процессов при перестройке цитоскелета тромбоцита вообще изучена пока достаточно мало, а тут уже новый вопрос: зачем одним клеткам при активации становиться «амебами», а другим — «шариками»?

## Адгезия и агрегация

Чтобы залатать неисправный сосуд и предотвратить кровопотерю, тромбоцитам нужно прикрепиться к месту «аварии» (адгезия) и друг к другу (агрегация). Первые обнаружившие повреждение клетки прикрепляются к нему и формируют нижний слой тромба. К ним прилепляются новые тромбоциты из потока, и постепенно образуется тромбоцитарный агрегат (рис.6). Но между клетками в нем остаются промежутки, через которые может просачиваться плазма крови, поэтому она железируется вблизи места повреждения в результате реакций между факторами свертывания. Обра-

зующийся гель заполняет промежутки между тромбоцитами и полностью останавливает вытекание крови из раны. Адгезия и агрегация в норме ведут к перекрытию места «аварии» и предотвращению кровопотери, а при патологических условиях, плохо пока изученных, вызывают формирование тромбов, мешающих нормальному кровотоку в здоровых сосудах. Их тромбообразование является причиной многих сердечно-сосудистых заболеваний, в том числе инфарктов и инсультов.

Адгезия происходит за счет связывания специальных рецепторов, гликопротеинов (ГП) VI и Ib и интегрина  $\alpha_{IIb}\beta_3$  (или ГП IIbIIIa), на мембране тромбоцита с определенными белками на поверхности поврежденного сосуда. Агрегация же происходит за счет ГП Ib и IIbIIIa и представляет собой образование связи между двумя рецепторами посредством растворенного в плазме крови лиганда (от лат. *ligare* — связывать; вещество, специфически соединяющееся с рецептором). Гликопротеинам Ib и VI для связывания лигандов не требуется дополнительных условий, в отличие от ГП IIbIIIa, который приобретает такую способность только благодаря своим конформационным изменениям, происходящим после активации тромбоцита. Фибриноген и фактор Виллебранда, основные лиганды интегрин  $\alpha_{IIb}\beta_3$ , обладают симметричной структурой и поэтому взаимодействуют одновременно с двумя рецепторами на соседних активированных тромбоцитах, формируя между ними скрепляющие «мостики» (рис.4).

Рассмотрим приближенную последовательность событий, происходящих с тромбоцитами при нарушении целостности сосуда. Повреждение эндотелия приводит к выставлению в кровоток коллагена, на который из плазмы крови тут же садятся молекулы фактора Виллебранда. Тромбоциты, приносимые к месту травмы, связываются с ними, а затем с коллагеном через рецепторы ГП Ib и ГП VI соответственно. Это запускает сигнальные процессы, приводящие к активации интегрин  $\alpha_{IIb}\beta_3$  и к началу формирования тромба. По мере того как клетки склеиваются друг с другом за счет интегрин  $\alpha_{IIb}\beta_3$ , они секретируют тромбоксан A2 и АДФ, которые активируют интегрин  $\alpha_{IIb}\beta_3$  на проносящихся в потоке тромбоцитах, вовлекая их в растущий тромб.

В нашем организме размеры сосудов и скорости кровотока меняются от аорты с диаметром 2.5 см и средней скоростью потока 48 см/с до мельчайших капилляров диаметром 0.0008 см и скоростью течения крови 0.1 см/с. Тромбоциты обладают уникальной способностью формировать стабильные контакты друг с другом в этом широком диапазоне условий. А удастся им это благодаря тому, что при разных условиях вклад различных рецепторов, осуществляющих прикрепление тромбоцитов к стенке сосуда или друг к другу, сильно меняется. И когда работа одного рецептора оказывается неэффективной, инициа-



тивую подхватывает другой, лучше приспособленный к данным условиям.

Напомним, что традиционной схемой скрепления двух тромбоцитов является образование связей «рецептор на одной клетке — лиганд в плазме — рецептор на другой». Однако недавно нам удалось показать, что существует еще одна схема — «рецептор на одной клетке — лиганд на другой» [5]. На внешней поверхности мембраны прокоагулянтных тромбоцитов непонятным пока образом удерживается большое количество белков  $\alpha$ -гранулярного происхождения, в частности фибриноген и фактор Виллебранда. Из-за этой белковой «шубы» такие тромбоциты некоторое время назывались в литературе «укутанными», при этом интегрин  $\alpha_{IIb}\beta_3$ , основные рецепторы агрегации, на них парадоксальным образом неактивны и не могут связывать свои лиганды. В связи с этим долгое время считалось, что прокоагулянтные тромбоциты вообще не могут агрегировать, однако, как мы выяснили, способны слепляться с «обычными» активированными тромбоцитами (но не друг с другом). И происходит это за счет связывания активных интегринов  $\alpha_{IIb}\beta_3$  на поверхности «обычных» активированных тромбоцитов и лигандов этого рецептора, удерживаемых на поверхности прокоагулянтных тромбоцитов в составе их белковой «шубы».

Сегодня уже достаточно хорошо известно, как запускается и происходит рост тромба, но неясно, как этот процесс останавливается. Почему в норме рост тромба со временем прекращается, не приводя к закупорке сосуда? Вероятно, ответ на этот вопрос кроется в сложном одновременном действии множества факторов, оказывающих влияние на рост тромба, включая локальные условия кровотока и концентрации растворимых агонистов — таких как АДФ, тромбоксан А2 и тромбин.

Итак, прокоагулянтные тромбоциты по сравнению с «обычными» активированными обладают

лучшей способностью ускорять плазменный гемостаз и особым механизмом агрегации — могут скрепляться с «обычными» активированными тромбоцитами, но не с себе подобными. Формирование субпопуляций, обладающих уникальными комбинациями свойств, — один из самых интересных и сложных феноменов в науке о тромбоцитах. Экспериментальных данных, накопленных в результате более 15 лет продолжающихся исследований, достаточно, чтобы предполагать, что субпопуляции этих клеток играют разные роли в регуляции роста тромба. Сейчас в нашей и нескольких зарубежных лабораториях ведется активная работа по выявлению (пато)физиологической роли тромбоцитарных субпопуляций и исследование их пространственного распределения в растущих тромбах. Эти знания позволят разработать новые лекарства, избирательно влияющие на клетки разных субпопуляций. Так мы сможем вмешиваться в регуляцию роста тромба и предотвращать развитие патологических процессов (тромбоза), а там, где это требуется, наоборот, стимулировать нормальный гемостаз.

\* \* \*

Тромбоциты обеспечивают остановку кровотечения и одновременно играют главную роль в тромбозе. Постепенно все больше вопросов, связанных с этими клетками, находят ответы, но тромбоциты таят в себе еще очень много секретов. Достаточно добавить, что в последние 20 лет было обнаружено их участие в иммунном ответе, воспалении, регенерации тканей, ангиогенезе (образовании новых кровеносных сосудов) и даже развитии опухолей. Дальнейшее изучение тромбоцитов поможет лучше понять протекание многих жизненно важных процессов нашего организма, но в первую очередь станет решающим шагом в победе над тромбозом — основной причиной смертности в развитых странах. ■

**Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология» и Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №12-04-31401, 12-04-31788, 12-04-31873, 12-04-32246, 12-04-33055, 13-04-00401, 14-04-00670).**

## Литература

1. *Oblmann P., Eckly A., Freund M. et al.* ADP induces partial platelet aggregation without shape change and potentiates collagen-induced aggregation in the absence of Galphaq // *Blood*. 2000. V.96. №6. P.2134—2139.
2. *White J.G.* Electron microscopy methods for studying platelet structure and function // *Platelets and megakaryocytes* / Eds J.M.Gibbins, M.P.Mahaut-Smith. Totowa; N.J., 2004. P.47—63.
3. *Fatissou J., Mansouri S., Yacoubet D. et al.* Determination of surface-induced platelet activation by applying time-dependency dissipation factor versus frequency using quartz crystal microbalance with dissipation // *J. R. Soc. Interface*. 2011. V.8. №60. P.988—997.
4. *Gerrard J.M., White J.G., Rao G.H. et al.* Effects of the Ionophore A23187 on the blood platelets II. Influence on ultrastructure // *Am. J. Pathol.* 1974. V.77. №2. P.151—166.
5. *Yakimenko A.O., Verbolomova F.Y., Kotova Y.N. et al.* Identification of different proaggregatory abilities of activated platelet subpopulations // *Biophys. J.* 2012. V.102. №10. P.2261—2269.



# Микротомография — Взгляд в невидимое

В.Е.Асадчиков, А.В.Бузмаков, Д.А.Золотов, И.В.Якимчук

**Р**ентгеновская компьютерная томография сейчас — один из основных диагностических методов в медицинских исследованиях. Его принцип — получать пространственную информацию о структуре из послойных рентгеновских снимков объекта. «Послойность» изображений достигается съемкой при различных углах падения зондирующего излучения. Луч каждый раз проходит свой путь в объеме вещества и поглощается по-разному (это так называемая абсорбционная томография). Но кроме традиционных приложений (где мы вышли на разрешение  $\sim 1$  мкм) использовать технику рентгеновской микротомографии можно и для исследования кристаллов и изогнутых поверхностей.

## Какими лучами смотреть

Для проведения томографических исследований важно правильно выбрать характеристики применяемого в экспериментах рентгеновского излучения. Они должны быть таковы, чтобы с одной стороны, объект с размерами 0.001—10 мм не стал для лучей совершенно непрозрачным, а с другой — поглощение в образце было все же существенным даже для таких мягких биологических тканей, как эпителиальные покровы. Например,



**Виктор Евгеньевич Асадчиков**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией рефлектометрии и малоуглового рассеяния Института кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН. Сфера научных интересов — процессы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом.



**Алексей Владимирович Бузмаков**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Специалист в области цифровой обработки экспериментальных данных и параллельных вычислений.



**Денис Александрович Золотов**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Занимается развитием методов рентгеновской абсорбционной томографии и топо-томографии.



**Иван Викторович Якимчук**, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник той же лаборатории. Работы связаны с рентгеновской оптикой и эффектом полного внешнего отражения рентгеновского излучения.

показатель поглощения белка для фотонов с энергией  $E = 8 \text{ кэВ}$  ( $\lambda = 1.5 \text{ \AA}$ ) — порядка  $1 \text{ мм}^{-1}$ . Следовательно, излучение с такой энергией хорошо подходит для исследования биообъектов размером в несколько миллиметров.

Оптимальной для исследования биологических объектов размером  $1\text{--}10 \text{ мм}$  можно считать область, где контраст, определяемый как отношение поглощения рентгеновских лучей образцом и окружающей средой (водой), равен  $0.2\text{--}0.8$ . Этому условию как раз и соответствует излучение с длинами волн  $1.5\text{--}4.0 \text{ \AA}$ . Разумным представляется использование максимально длинноволнового излучения, для которого, однако, объект еще остается прозрачным [1].

Отметим, что в современных медицинских и лабораторных томографах\* используется жесткое тормозное рентгеновское излучение (максимум интенсивности на длине волны  $\sim 0.2 \text{ \AA}$ ) с широким спектральным распределением. Применение столь коротковолнового излучения обусловлено тем, что оно слабо взаимодействует с биологическим объектом и потому относительно безопасно. Но по той же причине контраст между биологическими тканями различного типа мал. Следует также подчеркнуть, что и само значение коэффициента линейного ослабления для этих тканей не удастся восстановить, поскольку волны разной длины в широком спектре зондирующих лучей ослабляются по-разному.

Применение немонохроматического излучения с очень короткой длиной волны безусловно оправдано в дефектоскопии неорганических материалов, которая имеет дело с неоднородностями сантиметрового масштаба. Если же размеры таких объектов порядка миллиметра или изучаются органические (и, в частности, биологические) объекты больших размеров, использование подобного рентгеновского излучения с широким энергетическим спектром оказывается, на наш взгляд, в большинстве случаев недостаточно информативным. Неслучайно в конструкцию прибора довольно часто вводят фильтры/монохроматоры (отсекают длинноволновую часть спектра).

Подробно прочесть о преимуществах монохроматических рентгеновских лучей в указанном диапазоне длин волн для рентгеновской томографии можно в статье [1].

\* <http://www.skyscan.be>

## Томография на лабораторном столе

В самых общих чертах схему рентгеновского томографа можно представить так: источник излучения, объект исследования, детектор (рис.1). Современный прибор немалозначим без управляющего компьютера, который конечно же, должен быть снабжен программой обработки экспериментальных данных [2]. Мы будем говорить о лабораторных рентгеновских томографах, в которых источник и детектор неподвижны, излучение монохроматизированно, а набор проекций получают вращением образца.

В нашей лаборатории рефлектометрии и малоуглового рассеяния ИК РАН был сконструирован и испытан комплекс лабораторных рентгеновских микротомографов. В первом приборе на базе созданного ранее дифрактометра ДРШ [3] использовался монохроматор из монокристалла кремния — отражающая плоскость (220). Данный дифрактометр работает при горизонтальном расположении образца, и ось вращения монохроматора лежит в горизонтальной плоскости. Образец размещается на гониометре, ось которого, наоборот, вертикальна. Прибор оборудован одномерным газоразрядным позиционно-чувствительным детектором, размер чувствительной области которого составляет  $100 \text{ мм}$ , а разрешение — около  $0.15 \text{ мм}$ .

Для оценки пространственной чувствительности метода и прибора была получена томограмма

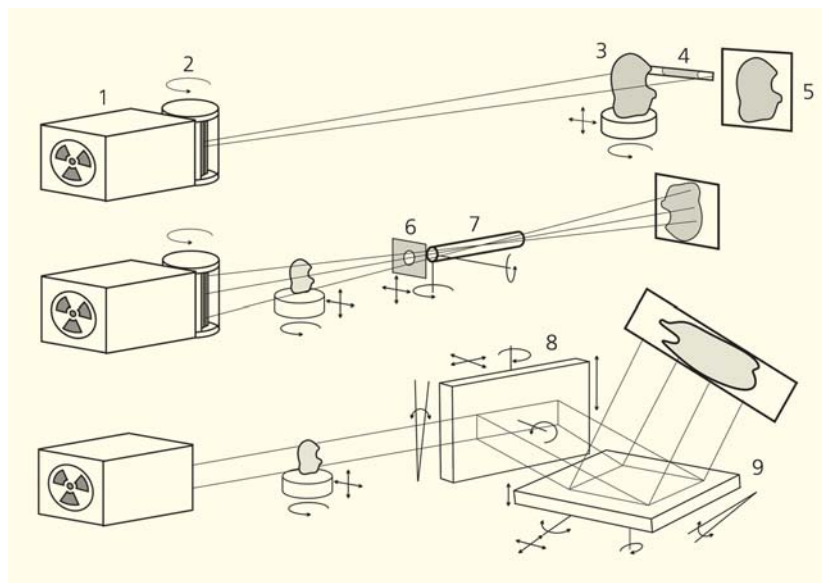


Рис.1. Схема микротомографа на базе дифрактометра ДРШ в разных вариантах. 1 — рентгеновская трубка, 2 — блок кристалла-монохроматора, 3 — исследуемый объект на гониометрическом столике, 4 — линейный позиционно-чувствительный детектор. В усовершенствованном варианте прибора детектором служит ПЗС-матрица (5). Для повышения разрешения можно использовать многоэлементную рентгеновскую линзу, помещаемую вместе с диафрагмой между образцом и детектором (показаны снизу — 6, 7). В одной из модификаций установки монохроматорами служат ассиметрично срезанные кристаллы (8, 9).

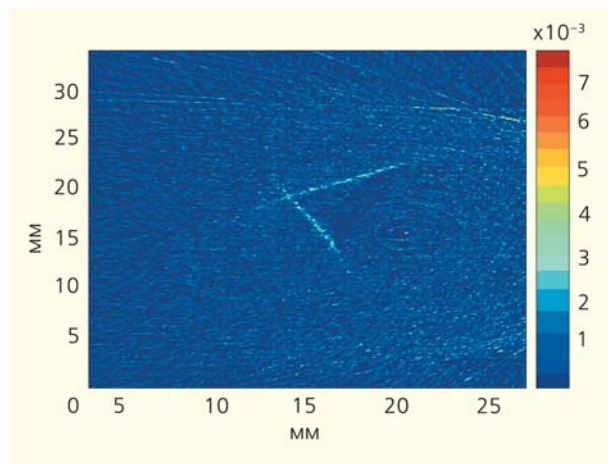


Рис.2. Реконструкция плотности бумажного уголка.

бумажного уголка, смотрящего торцом на источник (рис.2). Толщина листа бумаги как раз сравнима с разрешением использованного нами детектора (~100 мкм). Независимо был измерен коэффициент линейного поглощения листа бумаги: 20 слоев бумаги помещались перед детектором, и измерялся коэффициент ослабления для такой структуры. Измерения показали, что для линии  $K_{\alpha}$  молибдена ослабление составляет величину 15%. Соответственно, ослабление одним слоем бумаги происходит всего на 0.9%. Тем не менее эксперименты продемонстрировали, что нам удается реконструировать даже такой тонкий и слабопоглощающий объект (ниже будет приведена реконструкция трехмерной структуры уголка, выполненная на другом приборе).

Для оценки среднеквадратичного отклонения при определении поглощающей плотности, измеряемой нашим томографом, мы исследовали заведомо однородный по плотности предмет — пробирку с водой. Это классический тест-объект, применяемый при калибровке медицинских томографов [4]. Вращая пробирку, мы получаем разные проекции и по ним восстанавливаем ее поперечное сечение (вдоль хода лучей). При проведении данных экспериментов интенсивность в прямом пучке составляла 4000 импульсов в пиксель для каждой проекции, использовались 72 проекции, отличающиеся друг от друга поворотом образца на  $2.5^{\circ}$ . Сечение пробирки, а также график, который показывает число пикселей, имеющих различную плотность внутри пробирки, представлены на рис.3. Из анализа этого распределения следует, что точность определения плотности элементов на реконструкции порядка 10% вполне достаточна для большинства экспериментальных исследований. Если необходимо повысить точность, нужно увеличивать экспозицию.

После апробации метода рентгеновской микро-томографии в лабораторных условиях мы разработали новый прибор [5], который вместо линейного детектора был оснащен двумерным — ПЗС-матрицей (см. рис.1). Излучение на этот раз монохроматизировалось пиролитическим графитом.

Использование двумерного детектора позволило не только улучшить разрешение до 13 мкм (размер чувствительного элемента ПЗС-детектора), но и существенно сократить время проведения экспериментов. Дело в том, что линейный детектор сканирует объект строчка за строчкой, а двумерный детектор дает всю картину одновре-

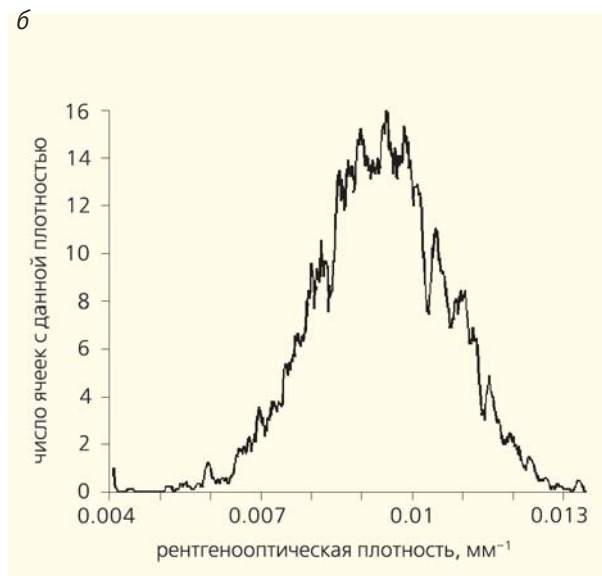
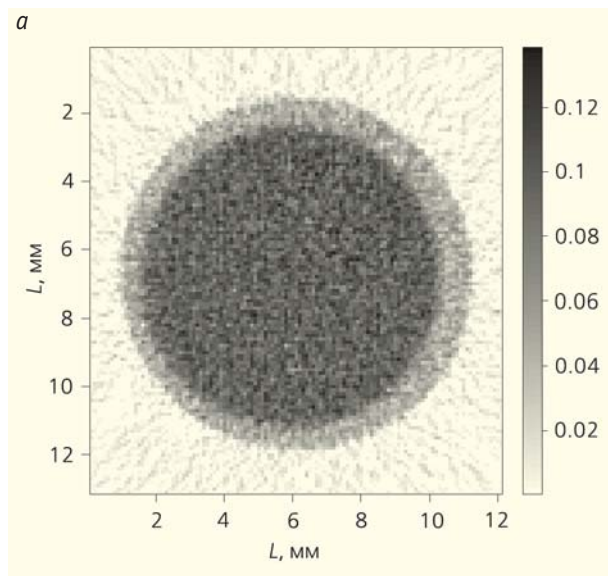


Рис.3. Реконструкция поперечного сечения полиэтиленовой пробирки, заполненной водой (значение коэффициента поглощения в  $\text{мм}^{-1}$  при энергии линии  $\text{MoK}_{\alpha}$ , *a*); распределение рентгенооптической плотности воды по пикселям, соответствующее реконструкции объекта (*b*).

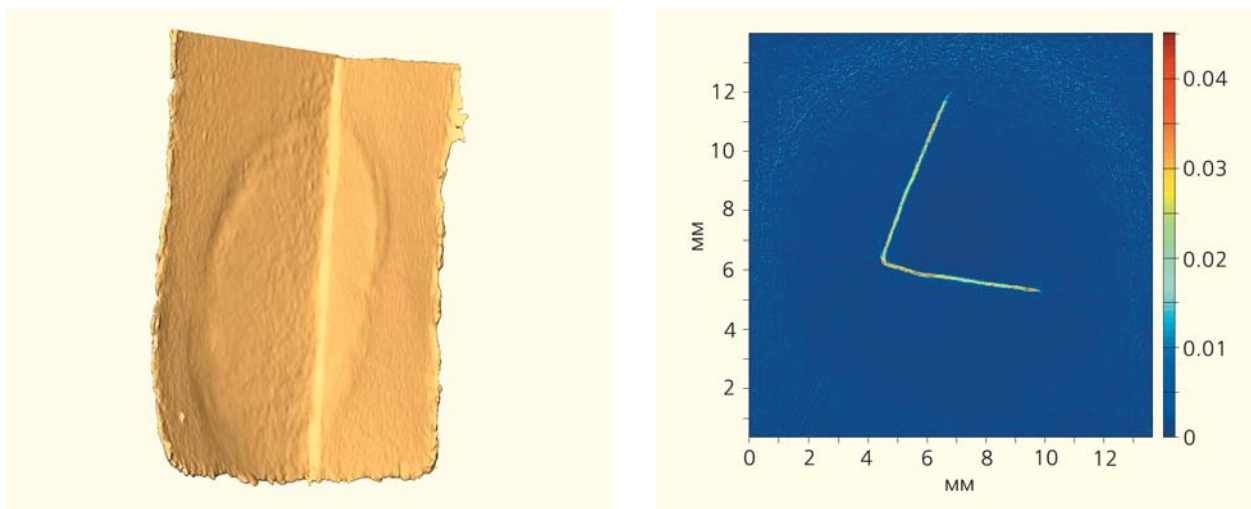


Рис.4. Трехмерная реконструкция бумажного уголка и одно из его поперечных сечений.

менно. На рис.4 показана восстановленная структура бумажного уголка. На реконструкции хорошо видна продавленная карандашом окружность. Это говорит о хорошей пространственной чувствительности метода.

### Геккон и светодиод в подробностях

Таким способом мы исследовали большое количество объектов органического происхождения. Приведем пример одного из них. Были изучены элементы опорно-двигательного аппарата гекконов *Pachydactylus turneri* (рис.5), причем один из гекконов побывал в невесомости на биоспутнике «Фотон-2М». Характерные размеры частей таких образцов не превышают нескольких десятков микрометров (что приближается к разрешению детектора). Напомним, что в живых организмах скелет представляет собой постоянно обновляющийся орган, а не мертвую структуру (кальциевый матрикс). Кость состоит из костных кле-



Рис.5. Внешний вид геккона *Pachydactylus turneri*.

ток — остеоцитов, которые обеспечивают ее рост и постоянное замещение атомов кальция. Ранее многолетние эксперименты с различными организмами показали [6], что в условиях невесомости происходит стабильная деминерализация скелета. Сейчас активно изучается роль реакции опоры в этом процессе. Предполагается, что, если элементы опорно-двигательного аппарата испытывают нагрузку, деминерализация не наступает или происходит в значительно меньшей степени. Однако до последнего времени проверка этого тезиса на лабораторных животных была невозможна.

Единственная группа лабораторных животных, которые в состоянии фиксироваться на любой поверхности и тем самым обеспечивать реакцию опоры, — гекконы. Ящерицы этого семейства обладают уникальной способностью закрепляться на любой поверхности при помощи огромного числа микроскопических крючков, которыми покрыты подушечки их лап. Цепкость этих животных так велика, что они могут бегать не просто по гладкому стеклу, но и по стеклянному потолку. Гекконам по силам фиксироваться в космическом боксе и даже в невесомости испытывать реакцию опоры. Вот почему они вне конкуренции как участники исследования влияния невесомости на деминерализацию скелета.

В рентгеновских томографических экспериментах использовалась трубка с серебряным анодом. Излучение (линия  $AgK_{\alpha}$ ,  $\lambda = 0.56 \text{ \AA}$ ) монохроматизировалось кристаллом пиролитического графита. Реконструкция, проведенная по рентгеновским изображениям, выявила все характерные особенности строения челюстей и позвоночника этого животного (рис.6). Результаты рентгеномографических и гистологических исследований не позволяют сделать заключение о декальцификации данных костей рептилий-космонавтов. Это,

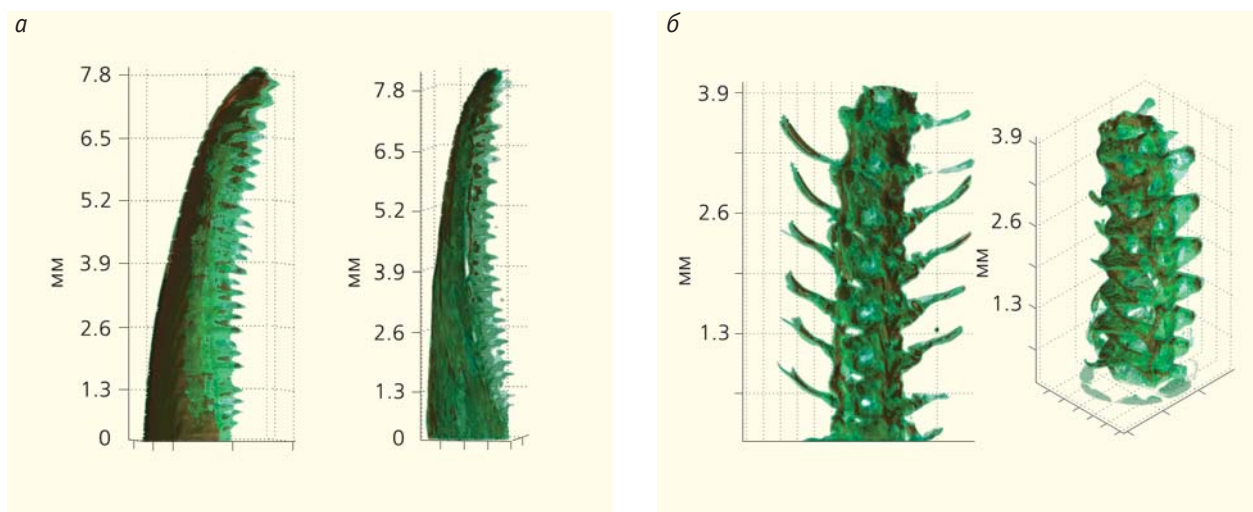


Рис.6. Реконструкция челюстей (а) и части позвоночника (б) геккона.

возможно, отличает их от других исследованных ранее животных [7] и подтверждает гипотезу о значении опорной реакции.

Для проведения исследований сильно поглощающих объектов необходимо использовать более жесткое рентгеновское излучение. По этой причине применение детекторов прямого счета становится невозможным. Приходится использовать детекторы, где рентгеновское излучение сначала переводится в свет видимого диапазона и лишь затем регистрируется ПЗС-матрицей. Отметим, что в их конструкцию можно включать традиционные оптические системы для повышения разрешения.

Проиллюстрируем возможность такого подхода на конкретном примере. Мы изучили структуру серийного светодиода, используемого в качестве осветителя. Томографический эксперимент проводился с использованием линии AgK $\alpha$ . Регистрация велась на серийном детекторе с разрешением 20 мкм. В нем применяется достаточно высокоэффективный сцинтиллятор, излучение которого передается на ПЗС-матрицу при помощи микроканального оптического световода. Изображения исследованной структуры представлены на рис.7. Проведенные измерения позволяют четко выявить особенности конструкции данного

изделия. Важно, что в эксперименте удастся не только установить наличие сапфировой подложки (Al $_2$ O $_3$ ), но и присутствие на ее поверхности ориентированной микроструктуры с периодом  $\approx$ 300 мкм.

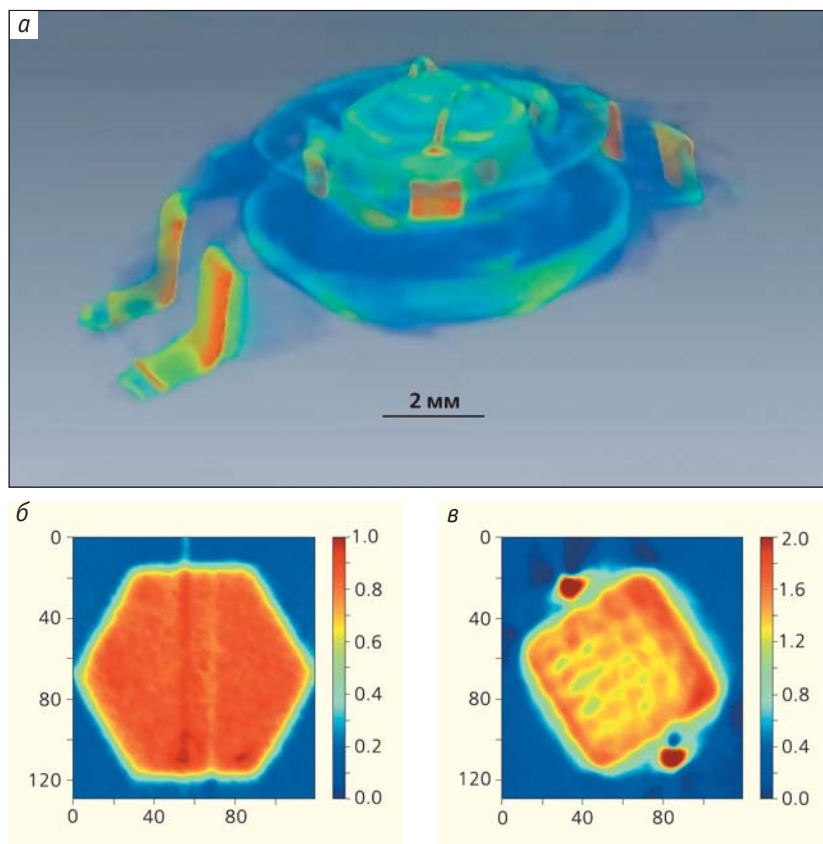


Рис.7. Результаты восстановления структуры светодиода: объемное изображение (а), подложка из лейкосапфира (б), металлические контакты (в). В двух последних случаях масштаб указан в каналах детектора (один канал соответствует 20 мкм).

### Стоматология для геккона

Для повышения разрешения до уровня единиц и долей микрона в конструкцию микротомографа был внесен увеличивающий рентгенооптический элемент — рентгеновская преломляющая линза (см. рис.1).

Одним из объектов для исследования стали зубы упомянутого выше геккона *Pachydactylus turneri*. Их характерный размер около 150 мкм. Детальное восстановление структуры такого объекта возможно лишь при достаточно высоком разрешении (большем, чем размер чувствительного элемента детектора, который, как указано, составлял 13 мкм). Зуб оказался подходящим объектом для исследования при помощи рентгеновской линзы: с одной стороны, в нем есть характерные включения размером 5–7 мкм, а с другой — он имеет линейные размеры, подходящие для поля зрения линзы.

Получение качественных увеличенных изображений позволило произвести томографическое исследование зуба с увеличением 2. В ходе томографического эксперимента было получено 36 проекций, экспозиция каждой из которых состав-

ляла 60 с (рис.8); там же представлена томографическая реконструкция.

Из сравнения реконструкции челюсти геккона без увеличения (см. рис.6) и зуба с увеличением 2 (рис.8) ясно, что детализация внутреннего строения зуба заметно улучшилась. На рис.9 показаны продольное и поперечное сечения зуба. На первом хорошо видно, что образец состоит из двух сросшихся зубов, каждый из которых имеет полость внутри, а один из них к тому же наполовину разрушен. На втором хорошо заметна полость внутри зуба, где располагается канал нерва.

Чтобы еще больше повысить разрешение, мы создали микротомограф, использующий два асимметричных кристалла (см. рис.1). В качестве источника использовалась рентгеновская трубка  $\text{CuK}_\alpha$  (размер фокуса около  $0.5 \times 0.5$  мм) [8].

Представленная схема позволила получить 20-кратное увеличение рентгеновского изображения на излучении  $\text{CuK}_\alpha$  ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ) и достичь разрешения порядка 1–2 мкм. Структура зуба геккона с таким разрешением представлена на рис.10. Экспозиция одного кадра занимала 600 с. Мы получили 36 кадров с углом поворота в  $5^\circ$  между ними, т.е. эксперимент длился порядка 6 ч. Теперь мы можем

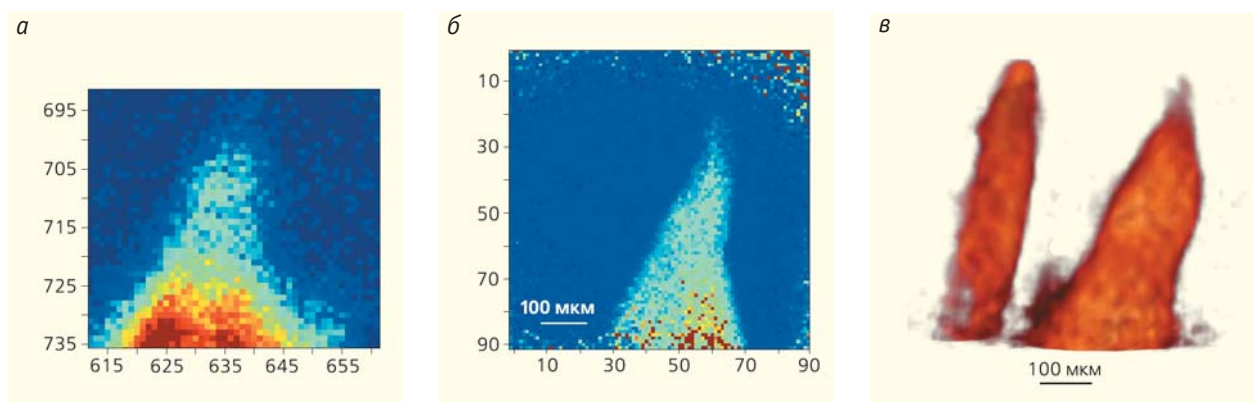


Рис.8. Увеличенные изображения зуба геккона, приведенные в одном масштабе при контактном снимке (без увеличения, *a*) и с увеличением 2 (*б*), томографическая реконструкция зуба геккона с увеличением 2 (*в*).

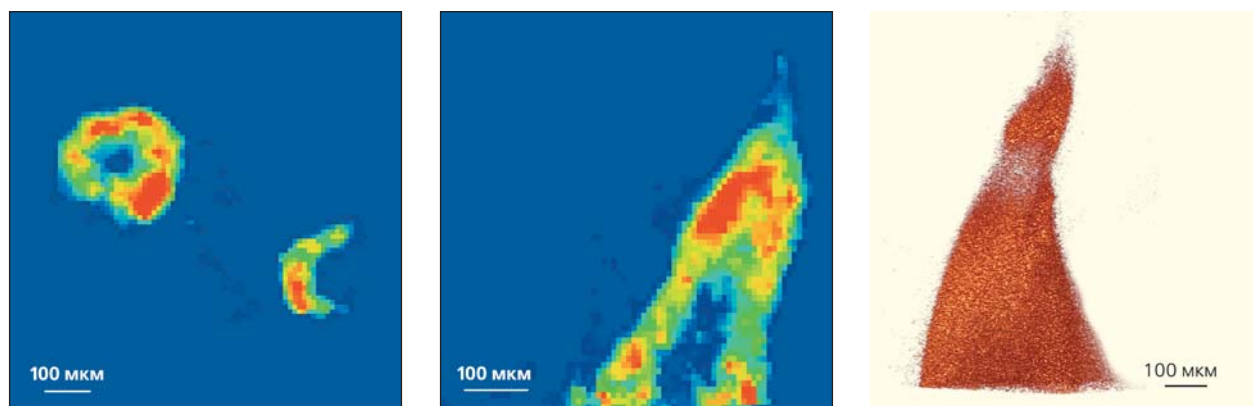


Рис.9. Продольное и поперечное сечение реконструкции зуба с увеличением 2.

Рис.10. Зуб геккона с увеличением 20.

заметить еще больше подробностей строения зуба: видна область пониженной плотности в его центре и заметно уплотнение в районе режущего острого края. Таким образом, применение асимметричных отражающих кристаллов позволило повысить разрешение лабораторной рентгеновской микротомографии до 1–2 мкм.

Ту же экспериментальную схему мы применили и для выявления объемных неоднородностей плотности природных и синтетических алмазов. Итак, мы продемонстрировали возможности метода микротомографии для исследования как органических [6, 7], так и неорганических объектов [9].

### Подключается дифракция

Как уже говорилось, достоверность восстановления в рентгеновской микротомографии легко обеспечивается, если неоднородности плотности изучаемых объектов составляют 10 или более процентов от плотности основного материала. Абсолютно иная ситуация имеет место при исследовании структуры совершенных кристаллов. Во всех кристаллах, применяемых практически — будь то в оптике или микроэлектронике, — дефекты почти неотличимы по плотности от остального материала. Для исследования таких объектов традиционно применяют метод рентгеновской топографии\*, однако он позволяет получать лишь двумерные сечения распределения дефектов в объеме кристалла.

В последнее время быстро развивается так называемая топо-томография, или дифракционная томография. Данный метод отличается достаточно высоким разрешением, что позволяет проводить анализ структуры даже индивидуальных дислокаций внутри слабо поглощающих монокристаллов (например, синтетических алмазов). До сих пор мы имели дело с рентгенограммами, которые формировались за счет разного поглощения в структурных элементах разной плотности. Основная же методическая особенность топо-томографии состоит в следующем: при получении проекционных изображений ось вращения образца не выбирается произвольно, а остается параллельной вектору обратной решетки одной из отражающих плоскостей кристалла. В результате в игру вступает дифракция, и детектор в процессе вращения кристаллического образца фиксирует соответствующие брэгговские отражения (топограммы), для которых можно применить те же алгоритмы реконструкции, что и в случае традиционной томографии.

\* Рентгеновская топография — совокупность методов получения изображений дефектов в кристаллах при помощи дифракции рентгеновских лучей. Во всех этих методах рентгеновский пучок от источника направлен на кристалл так, чтобы для всего кристалла или его части выполнялось условие Вульфа—Брэгга:  $2d\sin\theta = n\lambda$ .

Для реализации метода топо-томографии в лабораторных условиях мы модифицировали микротомограф. Его главная особенность — наклон оси вращения образца по отношению к падающему рентгеновскому пучку обеспечивается гониометром с точностью  $\sim 10''$ . Прецизионная гониометрическая головка юстирует ось вращения исследуемого объекта для выполнения условий Брэгга во всем интервале углов поворота. Отметим, что предложенная конструкция позволяет одновременно регистрировать прошедший и отраженный пучки (рис.11,а,б).

В качестве примера приведем результаты исследования внутренней структуры синтетического кристалла фторида лития (LiF) [10]. Изучался кристалл кубической формы с характерными размерами 3 мм и кристаллографической ориентацией (100) (второй порядок отражения). На рис.11 видно, что геометрические размеры объекта хорошо передаются при использовании

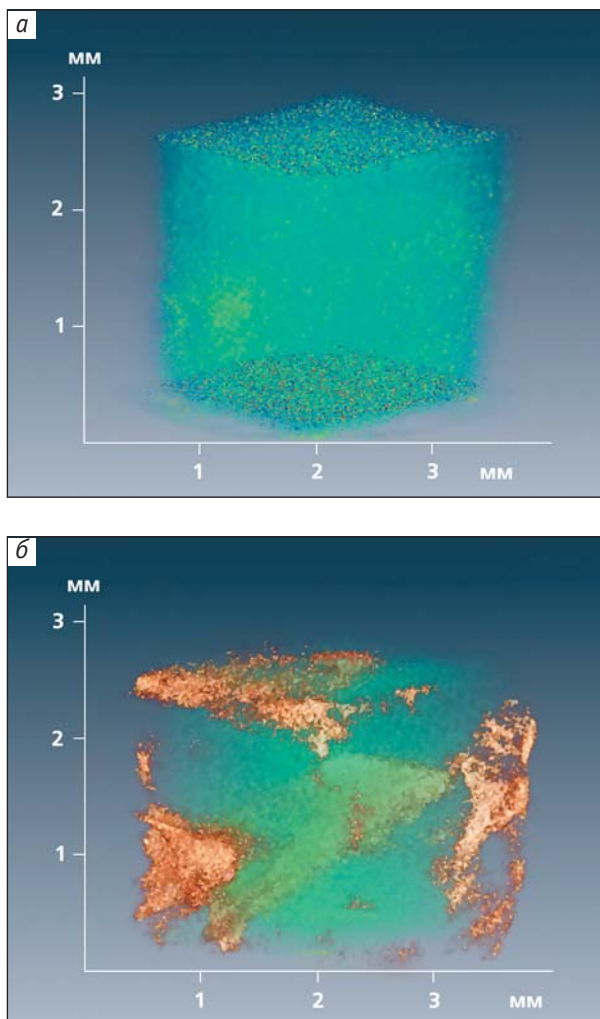


Рис.11. Реконструкции структуры кристалла LiF по топографическим (а) и по топографическим (б) данным. Пространственное разрешение  $\sim 20$  мкм.



как топо-томографии, так и традиционной абсорбционной томографии. Результаты восстановления с очевидностью показывают, что топо-томографический метод значительно более чувствителен к наличию дефектных областей в структуре кристалла.

### Что шепчет галерея

В ряде современных технологий применяются детали и изделия с рабочими поверхностями вогнутой сферической формы, качество которых анализировать до сих пор достаточно трудно. Мы предложили решить эту задачу при помощи эффекта шепчущей галереи в рентгеновском диапазоне длин волн [11, 12]. Он состоит в том, что акустическая или электромагнитная волна, падающая по касательной на вогнутую поверхность, скользит вдоль нее за счет последовательных отражений. При этом любой дефект поверхности уменьшает интенсивность отражения.

Типичный пример такого искажения интенсивности представлен на рис.12. Суть предлагаемого подхода состоит в наблюдении эффекта шепчущей галереи на исследуемом сферическом зеркале при разных углах поворота зеркала вокруг собственной оси симметрии. Очевидно, что при смещении дефекта поверхности, обусловленном ее вращением, локальный минимум в измеряемом распределении интенсивности также сместится. Это обстоятельство открывает возможность применить разработанные в томографии алгоритмы реконструкции для выявления и локализации дефектов на вогнутых поверхностях.

В качестве источника использовалась рентгеновская трубка с молибденовым анодом и точечным фокусом (0.4×0.4 мм). Для обеспечения ши-

рокого углового спектра пучка в эксперименте не использовались ни монохроматор, ни коллимирующие щели. Проведенные эксперименты подтверждают работоспособность предложенной идеи.

Одним из наиболее интересных полученных результатов стало восстановление отпечатка пальца, сделанного в центре исследуемого зеркала. На реконструкции отчетливо видны папиллярные линии (рис.13). Расстояния между ними, найденные по результатам реконструкции, находятся в диапазоне от 0.2 до 0.5 мм, что совпадает с прямыми измерениями. Отметим, что при создании отпечатка никаких контрастирующих веществ не использовалось.

Достигнутое на данный момент пространственное разрешение вдоль поверхности составляет около 50 мкм. Самый факт локального выявления дефектов на зеркальных поверхностях по предлагаемой нами методике сомнений не вызывает. Несмотря на ряд имеющихся трудностей, уже полученные результаты указывают на перспективность разрабатываемого подхода для анализа качества крупногабаритных вогнутых зеркал.

\* \* \*

Здесь мы вкратце рассказали о полученных нами в последние годы результатах. Между тем проблема визуализации объемного строения объектов различной природы имеет историю, берущую начало с первых опытов Рентгена, — длиной более века. Пока рентгеновская томография на микроуровне остается инструментарием ученых. Однако томографические методы исследования в качестве неразрушающего способа контроля находят все большее применение в практике — как в медицине, так и в индустрии высокотехнологичных изделий. ■

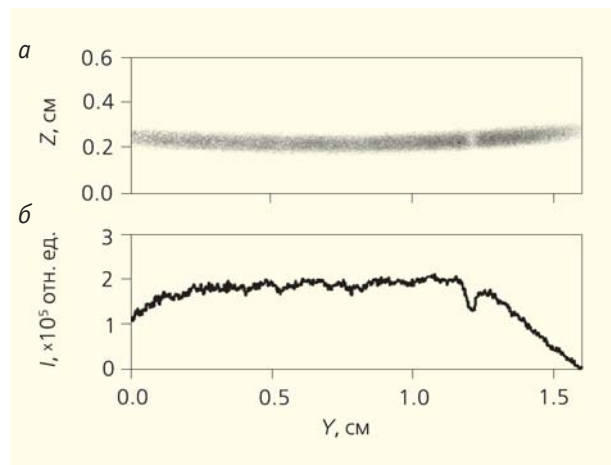


Рис.12. Измеренная двумерным детектором интенсивность пучка, отраженного сферическим зеркалом, в относительных единицах: двумерное распределение (степень почернения пропорциональна интенсивности, а); сечение (б).



Рис.13. Увеличенное изображение реконструкции отпечатка пальца.

## Литература

1. Асадчиков В.Е., Бузмаков А.В., Золотов Д.А. и др. Лабораторные рентгеновские микротомографы на монохроматическом излучении // Кристаллография. 2010. Т.55. №1. С.167—176.
2. Чукалина М.В., Бузмаков А.В., Николаев Д.П. и др. Рентгеновская микротомография на лабораторном источнике: техника измерений и сравнение алгоритмов реконструкции // Измерительная техника. №2. 2008. С.19—24.
3. Асадчиков В.Е., Бабак В.Г., Бузмаков А.В. и др. Рентгеновский дифрактометр с подвижной системой излучатель—детектор // ПТЭ. 2005. №3. С.99.
4. Календер В. Компьютерная томография. Основы, техника, качество изображений в области клинического использования // М., 2006.
5. Сосфенов Н.И., Фейгин Л.А., Бондаренко К.П. и др. Автоматический малоугловой рентгенодифрактометр АМУР-1 // Аппаратура и методы рентгеновского анализа. 1969. Вып.5. С.53—72.
6. Савельев С.В., Серова Л.В., Бесова Н.В., Носовский А.Н. Влияние невесомости на развитие нейроэндокринной системы у крыс // Авиакосмическая и экологическая медицина. 1998. Т.32. №2. С.36—42.
7. Gulimova V.I., Nikitin V.B., Asadchikov V.E. et al. Effect of 16-day spaceflight on the morphology of thick-toed gekkos (*Pachydactylus turnery* Gray, 1846) // Journal of Gravitational Physiology. 2006. V.13. №1. P.197—200.
8. Андреев А.В., Асадчиков В.Е., Бузмаков А.В. и др. Двумерное увеличение изображения в рентгеновском микроскопе асимметричного отражения // Письма в ЖЭТФ. Т.85. Вып.1. 2007. С.106—108.
9. Золотов Д.А., Бузмаков А.В., Ширяев А.А., Асадчиков В.Е. Рентгеновская компьютерная томография естественных алмазов и содержащихся в них микровключений // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. №9. С.3—8.
10. Золотов Д.А., Бузмаков А.В., Асадчиков В.Е. и др. Исследование внутренней структуры монокристалла фторида лития методом рентгеновской топо-томографии в лабораторных условиях // Кристаллография. 2011. Т.56. №3. С.426—430.
11. Якимчук И.В., Бузмаков А.В., Андреев А.В., Асадчиков В.Е. Рентгеновское томографическое изображение депозита на сферической поверхности // Письма в ЖЭТФ. 2011. Т.94. Вып.9. С.738—741.
12. Якимчук И.В., Бузмаков А.В., Андреев А.В., Асадчиков В.Е. Исследование качества вогнутых сферических поверхностей скользящим пучком рентгеновского излучения // Кристаллография. 2012. Т.57. №2. С.341—344.

### Международный год кристаллографии стартовал!

В Париже, в штаб—квартире ЮНЕСКО 20—21 января прошла официальная церемония открытия Международного года кристаллографии, каковым по решению Генеральной Ассамблеи ООН был объявлен 2014-й. На торжественных мероприятиях мог присутствовать любой желающий — Международный союз кристаллографов (IUCr), главный «хозяин» юбилейного года, помогал с оформлением виз. К участникам обратились с приветствиями Генеральный директор ЮНЕСКО и президенты IUCr и «родственных» союзов — Международного союза теоретической и прикладной химии (IUPAC), Международной минералогической ассоциации (IMA), Международного союза по биохимии и молекулярной биологии (IUBMB), Европейс-

кого физического общества (EPS). Дж.Глускер из Онкологического центра Фокс Чейз (Филадельфия, США) рассказала о прошлом, настоящем и будущем кристаллографии, а Б.Кобилка из Стенфордского университета (Стенфорд, США), лауреат Нобелевской премии по химии 2012 г., прочел лекцию об исследовании структуры рецепторов, связанных с G-белками.

Но программа не замыкалась только на именитых гостях. Специальное заседание было отдано молодым ученым — талантливые представители Африки, Ближнего Востока, Азии, Латинской Америки, Восточной и Западной Европы выступили с короткими докладами и участвовали в обсуждениях с коллегами перспектив карьеры в сфере кристаллографии.

Отдельные секции были посвящены месту этой науки среди других областей знания и в жизни общества, ее развитию в

странах БРИКС, связи с художественным творчеством (с акцентом на роль симметрии в исламском искусстве). Разнообразие затронутых проблем вывело церемонию из круга узкопрофессиональных событий, сделав ее интересной и для широкой публики.

Предлагаемая «годовая афиша» с географией от Швеции до Южной Африки и от Турции до США тоже привлечет не только специалистов. Помимо приуроченных к тематическому году научных конференций и школ планируется проведение лекций, международного и национальных конкурсов по выращиванию кристаллов, выставок кристаллов, книг и других экспонатов. Приятно отметить, что ряд событий ориентирован на школьников. Пожелаем успеха этим начинаниям, которые должны поддержать интерес к науке, к сожалению, ослабевающий в современном обществе!

Расскажите наукам

# Алгебра и гармония в песне ВОСТОЧНОГО СОЛОВЬЯ

В.В.Иваницкий, И.М.Марова, В.А.Антипов

*Что за звуки! Неподвижен, внемлю  
Сладким звукам я;  
Забываю вечность, небо, землю,  
Самого себя.*

М.Ю.Лермонтов

*Поверил  
Я алгеброй гармонию.*  
А.С.Пушкин



Фото А.А.Зародова

В ряду истинно российских увлечений, размах которых некогда достигал уровня почти национального, нельзя не упомянуть культуру комнатного содержания певчих птиц, теперь, к сожалению, практически полностью утраченную. Нам, нынешним, трудно представить, какой огромной популярностью пользовались пернатые певцы в те далекие времена, когда о радио, телевидении и средствах записи звука еще даже не помышляли. Немало в ту пору держали и канареек, но особенно ценились певцы вольные, в природе с великим мастерством и терпением уловленные. Овсянки и чижи, щеглы и реполовы, синицы и малиновки. Но всего более, конечно же, соловьи. В московских трактирах, владельцы которых за баснословные деньги приобретали знаменитых певцов, каждый вечер собирались десятки слушателей только для того, чтобы насладиться чудным пением. За удовольствие здесь денег не брали, но за возможность подвесить рядом с маэстро клетку с учеником требовали плату немалую. Вспоминают, что для тайного обучения некоторые предприимчивые люди приносили своих питомцев в специально оборудованных шляпах.

Знатоки соловьиного пения, называвшие себя «охотниками», обладали поразительными способностями — они безошибочно распознавали на слух тончайшие нюансы песни и певческие манеры соловьев из разных областей Европейской России. О достоинствах и недостатках отдельных певцов «охотники» могли толковать без конца, тем более что лексика, употребляемая для описания соловьиного пения, была чрезвычайно богатой и утонченной. В ходу были сотни наименований колен, общего строя песни, манеры ее исполнения. Слыть знатоком соловьиного пения было в то время модно и престижно. Не только поэтому люди тянулись к соловьям, но и по сердечной склонности к их высочайшему мастерству. Что-то было в их пении такое, что равно умиляло и надменного аристократа, и купца-тысячника, и фабричного подмастерья, и нищего крестьянина.

Но что же, в самом деле? Почему, как поется в известной песне, при звуках соловьиного пения



**Владимир Викторович Иваницкий**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры зоологии позвоночных животных биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова. Известный специалист в области сравнительной этологии и биоакустики.



**Ирина Михайловна Марова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же кафедры. Научные интересы связаны с систематикой, микроэволюцией и биоакустикой.



**Владислав Анатольевич Антипов**, аспирант той же кафедры. Область научных интересов — орнитология, биоакустика.

«из полей уносится печаль, из души уходит прочь тревога»? В чем секрет «маленького волшебника белой рощи»? Какая алгебра лежит в основе одухотворяющей гармонии соловьиного вокала? Можем ли мы предложить объяснение этому феномену, исходя из всего того, что известно ныне о пении пернатых, и с использованием того аналитического арсенала, который предлагает нам современная биоакустика — наука о звуковой сигнализации животных? Что нового для развития этого популярного направления современной зоологии может подарить нам изучение соловьиного искусства? Как выглядит песня соловья на экране компьютера? Почему она нам так нравится? Какие процессы влияют на становление репертуара у отдельных исполнителей и вокальных традиций целых популяций?

Эти вопросы побудили нас заняться исследованием вокального поведения восточных соловьев (*Luscinia luscinia*), обитающих в границах мега-

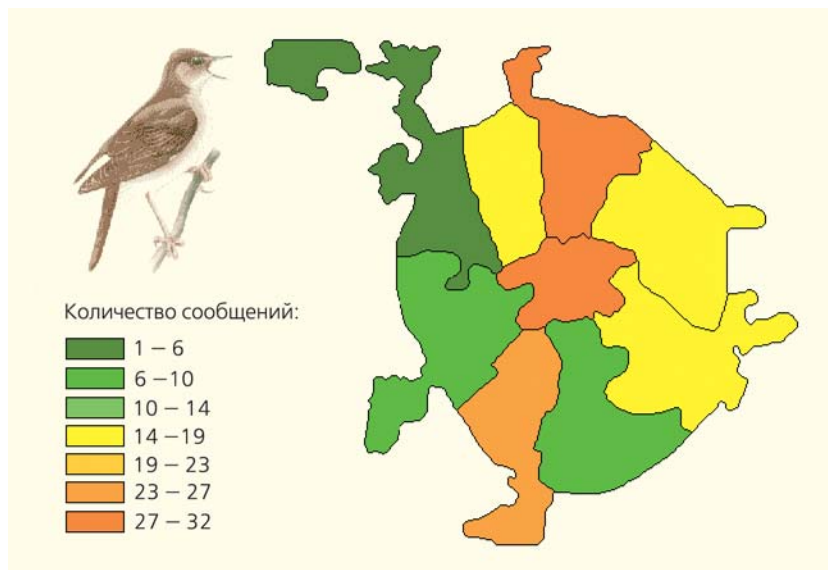


Рис.1. Последние (май 2013 г.) результаты учетов поющих в Москве соловьев. «Соловьиные вечера в Москве» — ежегодный проект Союза охраны птиц России. <http://biodat.ru/db/birds/solo.htm>

полиса. Ныне в Москве соловьи принадлежат к числу обычных городских птиц. Уже несколько лет подряд каждую весну, в конце мая, москвичи с воодушевлением участвуют в культурно-массовой акции Союза охраны птиц России по учету поющих соловьев. По оценке специалистов-орнитологов, обрабатывающих результаты этих учетов, в Москве одновременно распевают до трех-четырёх тысяч соловьев (рис.1). Столичные парки и скверы густо заселены несравненными певцами, щедро одаривающими москвичей своим искусством. В долине Сетуни, Нескучном саду, Битцевском лесопарке, на склонах Воробьевых гор и в Измайлове, стоя на одном месте, можно насладиться одновременным пением нескольких исполнителей (рис.2). При этом соловьи непугливы и азартно распевают в самых людных местах. С магнитофоном мы объездили почти все московские парки, записывали соловьев по всему Подмосковию, и постепенно перед нами одна за другой стали раскрываться сокровенные тайны соловьиного искусства, о некоторых из них мы и собираемся рассказать.

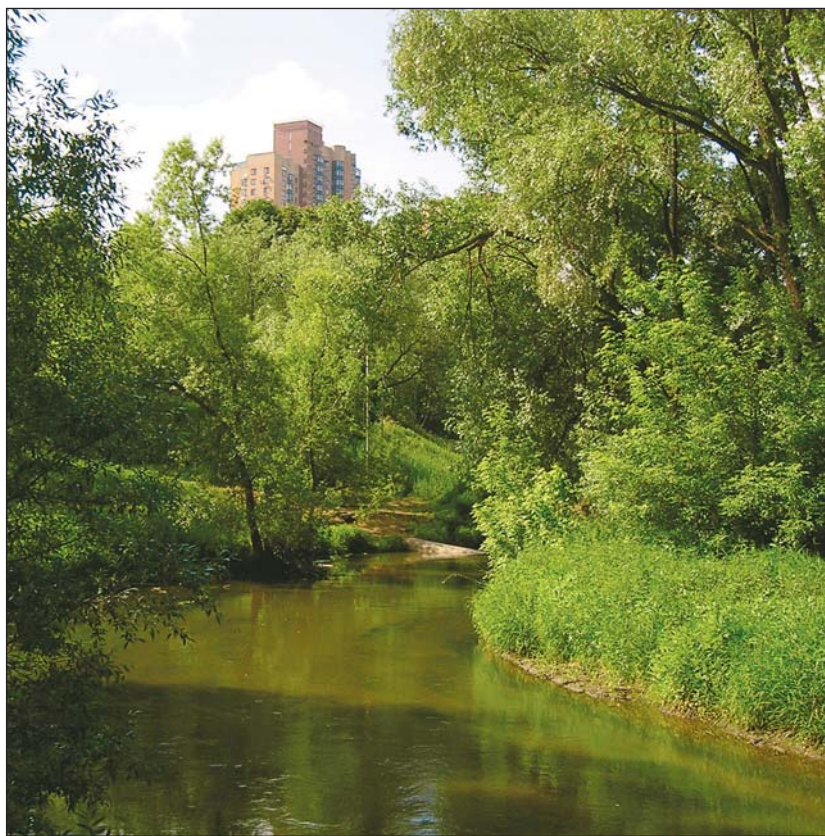


Рис.2. Глубоко врезанная долина реки Сетуни, куда шум огромного города почти не проникает. Здесь находится один из самых «соловьиных» уголков столицы. Весной и в начале лета воздух буквально звенит от пения десятков соловьев, камышевок, славков и многих других птиц, вполне комфортно чувствующих себя на охраняемой территории природного заказника.

Фото И.М.Маровой

### Истоки очарования

Отчего одни звуки нам приятны, а другие нет? Почему мы способны часами наслаждаться звучанием флейты, но едва ли согласимся долго внимать, к примеру, скрипу стекла о стекло.

Проведем мысленный эксперимент. Вообразим стеклянный графин с узким горлышком и плотно прилегающей, стеклянной же, пробкой. Примемся теперь легонько вращать пробку в горлышке, извлекая некие звуки, названия специального не имеющие, однако же без труда вообразимые и при этом удивительно напоминающие пение зарянки (*Eritbacus rubecula*) — пригожей птички с алой грудкой и большими печальными



Рис.3. Самцы восточного соловья (слева) и зарянки. Помимо вокальной одаренности и склонности к ночному пению соловьи мало чем отличаются от других певчих птиц, зимующих в тропической Африке, обитающих среди густой древесно-кустарниковой растительности, выищих гнезда на земле, высидивающих по пять-шесть яиц и питающихся исключительно насекомыми. Зарянка во многом похожа на настоящих соловьев, но прилетает весной пораньше и зимует не в Африке, а на юге Европы. В московских парках и скверах обе птицы соседствуют, вместе открывают концерт на закате и азартно поют до полной темноты, но вскоре зарянки замолкают, освобождая ночную сцену для своих именитых конкурентов.

Фото А.А.Зародова

глазами (рис.3), кстати, состоящей в очень близком эволюционном родстве с соловьями. Конечно, когда после долгой зимы, в начале апреля, часто еще по снегу, донесется вдруг в вечерних сумерках из соседнего сквера первая песня зарянки — обрадуется всякий. И кто упрекнет певунью в чрезмерной торопливости, сбивчивости, дребезжащих, а то и вовсе скрипучих интонациях? Скорее пойдут в ход иные оценки. Например, не один натуралист, писавший о зарянке, величал ее пение не иначе, как «хрустальным перезвоном».

Но какой контраст, однако, с чистыми, глубокими и отчетливыми звуками, которые так восхищают нас в пении соловьев. Еще одно очевидное различие — в громкости исполнения. Человек со средним слухом едва ли услышит зарянку, поющую далее 100—120 м. Для соловья эту дистанцию можно смело увеличить вдесятеро, разумеется, если концерт дается на более или менее открытом месте.

В чем же секрет силы и очарования соловьиного напева? Какие акустические свойства придают ему привлекательность и поразительную «дальнобойность»? Сравним устройство песни соловья и зарянки (рис.4). С первого взгляда видно, что

плотность упаковки составляющих элементов у зарянки намного выше. Потому и кажется нам ее песня чересчур торопливой, невнятной, а временами и скрипучей. Тут все дело в том, что наш слух «читает» акустические тексты, составленные из сверхкоротких звуков и разделяющих их быстрых пауз, намного хуже, чем птичий. Скорее всего, сама зарянка все звуки своей песни воспринимает так же отчетливо, как мы слышим отдельные слова в неспешной, хорошо артикулированной речи.

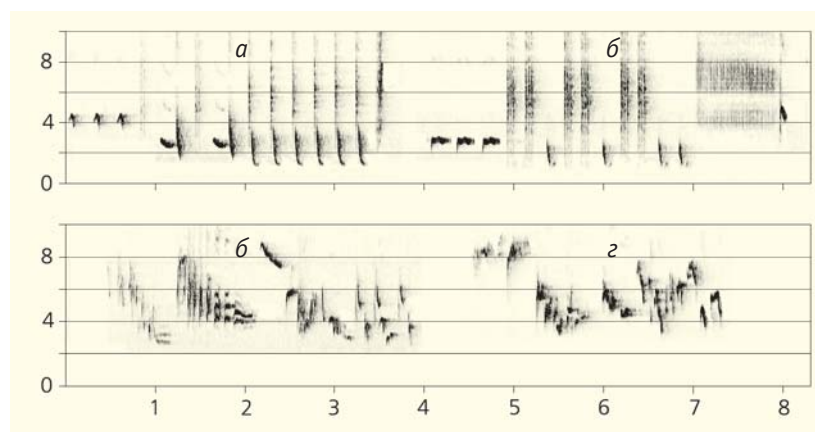


Рис.4. Сонограммы песен соловья (а, б) и зарянки (в, г), приведенные к одному масштабу времени, наглядно иллюстрируют глубокие различия вокальной манеры этих близкородственных видов. Сонограмма — это наиболее информативный способ графического изображения звука. Цифры на оси абсцисс показывают отсчет времени (с), по оси ординат — частоту звуковых колебаний (кГц), степень зачернения элементов рисунка прямо пропорциональна интенсивности звука.

Иначе звучит для нас соловьиный напев. Сильные опорные звуки (амплитудные максимумы), задающие генеральный ритм пению, разделены паузами, вполне достаточными для того, чтобы наш слух и наш мозг смогли не только воспринять их как некие акустические отдельные, но и произвести их оперативную оценку (нравится — не нравится). Соловей представляет свое искусство без излишней спешки, как бы снисходя до наших слуховых возможностей.

Любопытно, что по ритмическому строю соловьиная песня напоминает отчасти нашу речь. Промежутки между амплитудными максимумами у соловья варьируют от 0.10 до 0.64 и составляют в среднем 0.26 с, тогда как, например, один из авторов этой статьи в достаточно быстрой, но вполне внятной речи расставляет звуковые акценты с промежутками от 0.13 до 0.80, в среднем 0.32 с. Для сравнения укажем, что в песне зарянки промежутки между звуками почти вчетверо меньше: от 0.02 до 0.15, в среднем 0.07 с. Такую «скороговорку» мы воспринимаем не иначе как торопливое, неразборчивое щебетание.

Помимо четкого ритмического строя прелесть соловьиного напева во многом обеспечивается виртуозным чередованием широкополосных, высокочастотных и низкочастотных элементов. В особенности по части последних соловьи — мастера непревзойденные. Особенности голосового аппарата позволяют им издавать очень низкие звуки, лежащие в диапазоне от 1 до 2 кГц. В пении абсолютного большинства разновидностей певчих птиц звуки такого рода встречаются чрезвычайно редко. У соловьев они создают акустический контраст со звуками, занимающими широкую полосу частот с верхней границей в области 8—10 кГц. Низкочастотные звуки, как правило, обладают плавной амплитудной модуляцией; в их сильном, глубоком и насыщенном звучании мы не слышим никаких шероховатостей и помарок. В этих звуках — в старину их называли «дудками» — заключено, пожалуй, главное очарование соловьиной песни. К тому же это и самые громкие ее звуки, разносящиеся на многие сотни метров окрест. Похоже, соловьям известно, что скорость затухания звуковых колебаний в воздухе обратно пропорциональна их частоте, отсюда и явная их приверженность к низкочастотным «дудкам», «дробям», «стукотням» и «оттолчкам».

И здесь мы снова можем констатировать весьма симптоматичную близость соловьиной песни и нашей речи. На этот раз — по частотным характеристикам. Звуки, которые мы произносим, лежат в диапазоне от 100 Гц до 6000 Гц, но около 80% их общей мощности приходится на частоты ниже 500 Гц. Как убедился один из авторов этой статьи, пиковая частота его голоса составляет 170 Гц. Наибольшая энергия звукового сигнала передается именно на этой частоте. У соловья она составляет примерно 2000 Гц, а вот у зарянки —

3600 Гц, и вдобавок у нее имеется дополнительный пик около 7500 Гц. Заметим, что многие пожилые мужчины, у которых, как известно, с возрастом падает чувствительность к высоким частотам, вокальные пассажи птиц, лежащие в диапазоне выше 6000 Гц, услышать просто не в состоянии.

Таким образом, частотные параметры песни соловья заметно ближе к речи человека и к тому же лучше адаптированы к нашему слуховому восприятию.

## Анатомия совершенства

Внимая соловьиному пению, сразу же обращаешь внимание на то, что оно льется непрерывно, как у жаворонка или канарейки, и состоит из отдельных и притом довольно коротких вокальных конструкций, разделенных отчетливыми паузами и потому хорошо различимых на слух. Такие конструкции удобно называть отдельными песнями, а их последовательность, исполняемую поющим соловьем, — вокальной сессией. В репертуаре каждого певца имеется несколько типов песен, причем в ходе исполнения они обычно чередуются, и лишь иногда две-три одинаковые песни исполняются подряд друг за другом. Важнейшее свойство типов песен — их стереотипность. Однажды заучив любившийся тип песен, соловей в дальнейшем, раз за разом, повторяет его в неизменном виде, подобно тому как эстрадный певец на разных концертах без малейших вариаций повторяет одни и те же куплеты своих песен.

Тип песен — это законченное вокальное произведение, подчас довольно сложного устройства, со своей интродукцией, центральной частью и финалом. В московской популяции почти каждый тип песен предваряет серия специфических сигналов, имевших у соловьиных «охотников» традиционное наименование «починов» (рис.5,а). Они локализованы в диапазоне от 4 до 8 кГц и составляют высокочастотную часть соловьиного пения, потому и слышны лишь на близком расстоянии. Подряд могут быть исполнены до 8—10 одинаковых «починов», так что иногда они практически целиком заполняют все промежутки между песнями. В то же время, когда промежутки сокращаются до минимума, «почины» не используются вовсе. В московской популяции отмечены семь типов «починов».

После «почина» соловей исполняет «запевку» — композицию, представляющую собой серию громких и мелодичных свистовых нот, лежащих в относительно узком и довольно низком частотном диапазоне, от 1 до 3 кГц (рис.5,б). Обычно «запевка» — это самая благозвучная часть песни, по звучанию она контрастирует как с тихим высокочастотным «почином», так и со следующей — центральной частью песни, составленной главным образом широкополосными нотами. Эту часть песни обычно за-

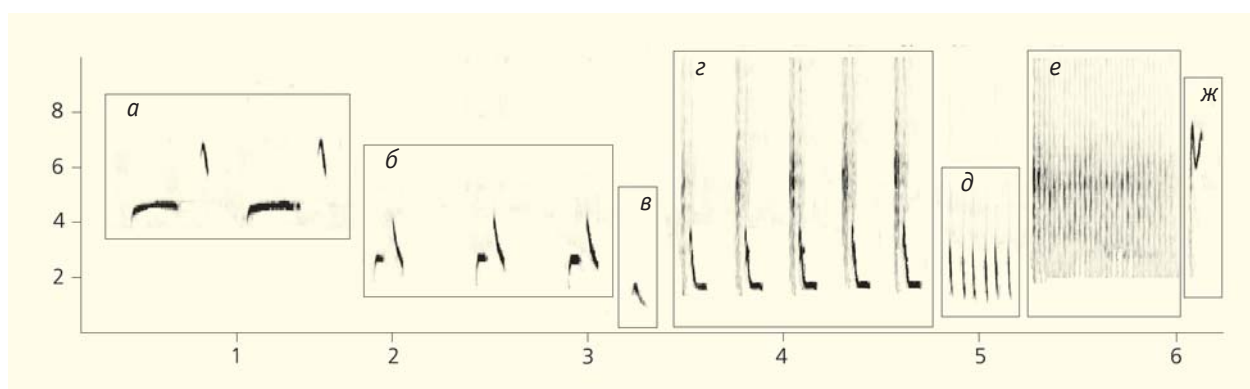


Рис.5. Типичная структура отдельной песни восточного соловья. Цифры по оси ординат — частоты (кГц), по оси абсцисс — отсчет времени (с). Обозначения: *а* — «почин» (нежные, тонкие посвисты «ции-лю ции-лю»); *б* — «запевка» (громкое, энергичное «ципиль — ципиль-ципиль»); *в* — низкочастотная одиночная нота (отрывистое «тут»); *г* — широкополосная трель, образованная двусложными компонентами (быстрое, энергичное и довольно мелодичное «чоо-чоо-чоо-чоо-чоо»); *д* — низкочастотная трель, «дробь» (громкое, сухое «ттртртртртртр»); *е* — заключительная трель (жужжание «взззззззззз»); *ж* — замыкающий компонент (очень короткое «ить»).

полняют трели — серии коротких (как правило, широкополосных) звуков разной природы. Многие трели состоят из двух посылок (нот), разделенных очень коротким, порядка 10 мс, интервалом. Первой всегда исполняется низкоамплитудная шумовая нота, за ней следует значительно более громкая тоновая нота в диапазоне 1.2—3.0 кГц. Общая продолжительность этой двусложной конструкции — около 100 мс, а разделяющих пауз — 130 мс (рис.5,г). Наряду с широкополосными звуками, занимающими весь частотный диапазон, для песни восточного соловья характерны низкочастотные трели («дробь»), локализованные в более узкой полосе от 1 до 2—3 кГц (рис.5,д). В этом же диапазоне собраны и некоторые одиночные ноты, придающие своеобразный ритмический рисунок некоторым типам песни (рис.5,в).

Финал песни обычно содержит две четко обособленные части. Во-первых, это очень плотная (50—55 нот в секунду) упаковка широкополосных импульсов общей продолжительностью до 0.5 с (звучит как скрипение или трещание; рис.5,е). Самый конец маркирует короткий, но четко выраженный компонент, длящийся около 100 мс. Некоторые из таких замыкающих компонентов представляют собой одиночную тоновую, частотно модулированную ноту, другие включают две такие ноты, исполняемые одновременно в режиме бифонации. В общей сложности в изученной нами популяции отмечено шесть разных типов замыкающих компонентов. Преобладают среди них относительно высокочастотные сигналы в диапазоне 5—8 кГц, но отмечен и один низкочастотный вариант (1.5—4.5 кГц).

Многие песни соловьи исполняют в усеченном виде. Важно, что при этом всегда звучит лишь самое начало песни — чаще всего «запевка», иногда вместе с несколькими широкополосными звуками

из центральной части песни. Автономного исполнения прочих компонентов песен (трелей всех типов и замыкающих элементов) не отмечено ни разу, т.е. соловьи всегда берется за исполнение очередной песни с самого ее начала. Нередко несколько усеченных песен — одинаковых или разных — исполняются подряд.

### Магия последовательности

Индивидуальные репертуары московских соловьев по объему различаются более чем втрое: посредственные певцы исполняют 7—8 типов песен, середнячки — 12—14, выдающиеся мастера — до 20—23 разнотипных песен. Но даже и при самом бедном репертуаре певец должен выбрать программу его презентации, т.е. определенную последовательность исполнения разных песен. Вероятно, проще всего выбирать их в случайном порядке. Но простота эта, похоже, только кажущаяся. Вообразите, что вы заучили, к примеру, 10 слов, и вас просят повторять их вслух, причем непременно в случайном порядке, в течение, скажем, одного-двух часов. Вы, без сомнения, быстро устанете, причем не от говорения, а от необходимости постоянно держать под контролем произносимую последовательность слов. Ваше внимание будет поглощено стремлением поддерживать пресловутый «случайный» порядок и не сбиться на одинаковые последовательности слов, которые утомленный мозг будет настойчиво порождать и навязывать. В этом поединке языка и мозга победа, скорее всего, окажется на стороне последнего. Любопытно, что точно такому же «зацикливанию» подвержены даже компьютеры, вынужденные генерировать длительные случайные последовательности символов, используе-



мые, например, для создания всевозможных ключей и паролей.

А теперь представьте, что те же самые 10 слов вы затвердили в строго определенной очередности. Многократно повторять однажды заученную последовательность слов в неизменном виде — занятие не самое трудное. Если порядок слов вызубрен на совесть, вы будете повторять их просто «на автомате» и одновременно с этим вполне сможете посвятить себя и еще какой-нибудь деятельности.

Похоже, так рассуждают и соловьи. Ведь для любого живого существа внимание — это важнейший и притом ограниченный ресурс. Если оно хотя бы частично устремлено в глубины собственной ментальности и приковано, скажем, к тому, чтобы поддерживать случайный порядок исполнения песен (а это не так просто, как мы убедились), то во внешнем мире вполне можно пропустить какое-нибудь важное событие, например, появление самки, вторжение соперника или, того хуже, хищника. Не потому ли соловьи не только заучивают наизусть отдельные типы песен, но и твердо запоминают порядок их презентации по ходу вокальных сессий?

Сколько же разнотипных песен с фиксированной очередностью их исполнения может хранить соловьиная память? Чтобы наглядно представить меру стереотипности и вариабельности последовательностей типов песен, прибегнем к методам теории информации. Вообразим для начала, что каждая единичная песня, спетая соловьем, представляет собой событие, не зависящее от всех прочих таких же событий, причем вероятность исполнения всех типов песен одинакова. Заметим, что такая последовательность как раз и составляет идеал случайности. В этой ситуации в ожидании исполнения очередной песни слушатель всегда пребывает в состоянии полной неопределенности — какая же из них прозвучит в очередной раз? Меру этой неопределенности (энтропию) можно рассчитать как логарифм совокупного числа типов песен в данном репертуаре ( $\log_2 N$ ). Тем самым мы получаем максимальную неопределенность ( $H_{\max}$ ), которую можно ожидать для идеальной случайной последовательности, состоящей из  $N$  разных типов песен.

Но реальный соловей разные типы песен исполняет с неодинаковой частотой. Это несколько уменьшает меру нашей неопределенности, поскольку теперь мы рассчитываем услышать типы песен, излюбленные данным соловьем и потому исполняемые чаще прочих. Для последовательностей такого рода неопределенность рассчитывается по известной формуле Шеннона:  $H_1 = - \sum P_i \log P_i$ , где  $P_i$  — вероятности исполнения разных типов песен.

Затем от единичных песен переходим к их сочетаниям. Теперь всю последовательность будем рассматривать как чередование пар, троек, четверок и тому подобных сочетаний типов песен, исполняемых непосредственно друг за другом. Про-

сто делим фонограмму на соответствующие отрезки и затем подсчитываем, сколько раз каждое сочетание (например, последовательность типов песен  $a-b-b$ ,  $a-b-g$ ,  $a-b-d$  и т.д.) на ней повторяется. Для каждого из этих сочетаний по формуле Шеннона рассчитываем соответствующую им энтропию ( $H_{\text{пар}}$ ,  $H_{\text{тройка}}$  и т.д.). Эта процедура вплотную подводит нас к ответу на главный вопрос: как меняется мера неопределенности слушателя в ожидании очередной песни, если он уже слышал одну, две, три и еще несколько предыдущих? Количественную оценку такого изменения вычисляем по формуле относительной неопределенности  $(H_{i+1} - H_i)/H_{\max}$ . Эта величина дает нам меру предсказуемости конечной песни внутри сочетания (например, тройки), если нам известны все предыдущие (для тройки — две песни).

Применив расчеты к конкретному примеру — фонограммам пения четырех самцов восточного соловья, мы построили информационный граф (рис.6), где видны изменения в неопределенности прогнозирования финального типа песни (второй песни в паре, третьей — в тройке и т.д.) по мере того, как меняется наша информированность относительно предыдущих. Наш путь лежит по оси абсцисс. В точке старта, обозначенной на рисунке серой стрелкой, нам известно лишь общее число типов песен в репертуаре. Этого достаточно, чтобы узнать максимальную неопределенность, которая понадобится в дальнейшем. В следующей точке (синяя стрелка) мы вносим поправку на реальное соотношение разных типов песен на всей фонограмме и по формуле Шеннона рассчитываем уточненную неопределенность. Во всех случаях она, как можно видеть, заметно меньше максимальной, но разница невелика, ибо число исполнений разных типов песен на фонограммах всех самцов в целом различается незначительно. Зато, переходя в третью точку, мы видим резкое падение неопределенности. Это означает, что прослушав любую песню, мы сразу получаем возможность с достаточно высокой вероятностью судить о том, какой именно будет следующая. Продолжая движение по оси абсцисс, в следующих точках мы видим ту же картину. При переходе от пар к тройкам, затем от троек к четверкам и от четверок к пятеркам неопределенность каждый раз заметно уменьшается. Но затем кривая вплотную приближается к оси абсцисс и выравнивается. На этом отрезке мера неопределенности уже не меняется. Иными словами, прослушав десяток песен подряд, мы можем предсказать следующий тип песни примерно с той же вероятностью, что и после пяти прослушанных.

Расчеты свидетельствуют о хороших мнемонических способностях восточных соловьев. Нет сомнений в том, что птицы в точности запоминают порядок исполнения последовательностей, включающих до пяти-шести типов песен, которые и сами по себе выглядят достаточно сложными акустическими конструкциями. Некоторые ис-

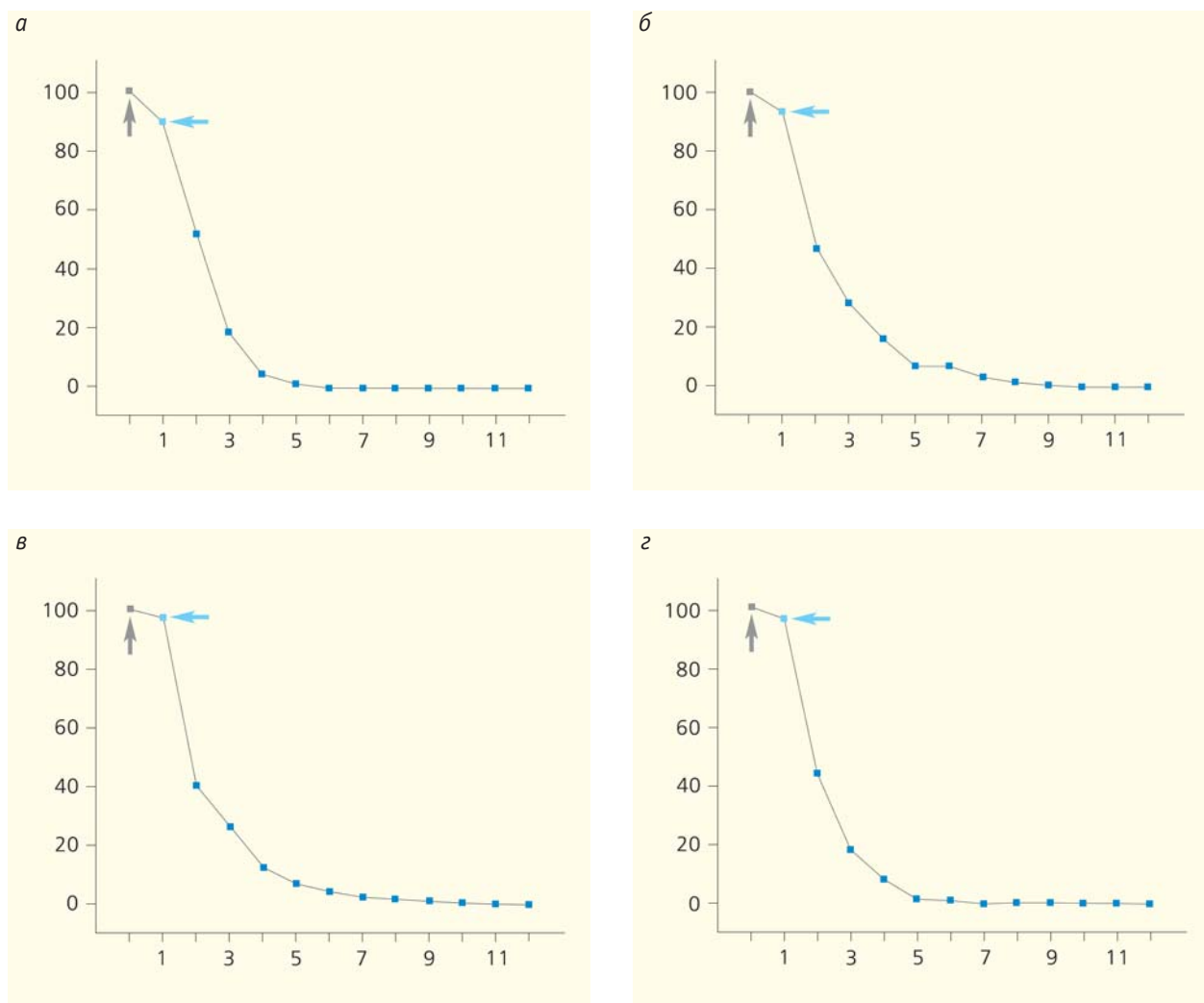


Рис.6. Информационный граф вокальных сессий четырех самцов восточного соловья (а—г). Ось ординат — неопределенность (энтропия) в процентах от  $H_{\text{макс}}$ ; цифры по оси абсцисс показывают число песен в элементарных сочетаниях (1 — единичные песни, 2 — пары, 3 — тройки и т.д.). Черная стрелка указывает максимальную энтропию, принятую за 100%, синяя стрелка — уточненную энтропию, вычисленную с учетом количественного соотношения разных типов песен на фонограмме.

полнители строят свои выступления по циклической программе, т.е. без конца повторяют одну и ту же последовательность песен. В особенности ярко такая циклическость проявляется в пении самцов с наиболее бедными репертуарами. Но даже у самых продвинутых вокалистов, исполняющих до 20—23 типов песен, тяготение к циклической организации выражено довольно отчетливо.

У московских соловьев две наиболее популярные вокальные программы (рис.7). Очередность исполнения типов песен в составе каждой программы соблюдается очень строго. Любопытным проявлением устойчивости ассоциативных связей между ними можно считать «грамматически правильное» употребление их усеченных вариантов. Как уже отмечалось, в московской популяции это чаще всего свистовые композиции («запев-

ки»). Иногда исполняются только «запевки», в других случаях к ним добавляются и другие компоненты, например несколько широкополосных посылок или полные трели из центральной части песни. По ходу вокальных сессий усеченные варианты часто повторяются подряд. Удивительно, что при этом ни усечение песен, ни даже их серийное исполнение в усеченном (равно как и в полном) виде обычно не меняют их положения по отношению к другим песням. Программа остается неизменной и в тех случаях, если после исполненной песни следует необычно длинная, например 20—30-секундная пауза. Создается полное впечатление, что соловей забыл, что петь дальше! И тем не менее даже после длинных пауз в большинстве случаев исполняется именно тот тип песен, который в данном месте предписан программой.

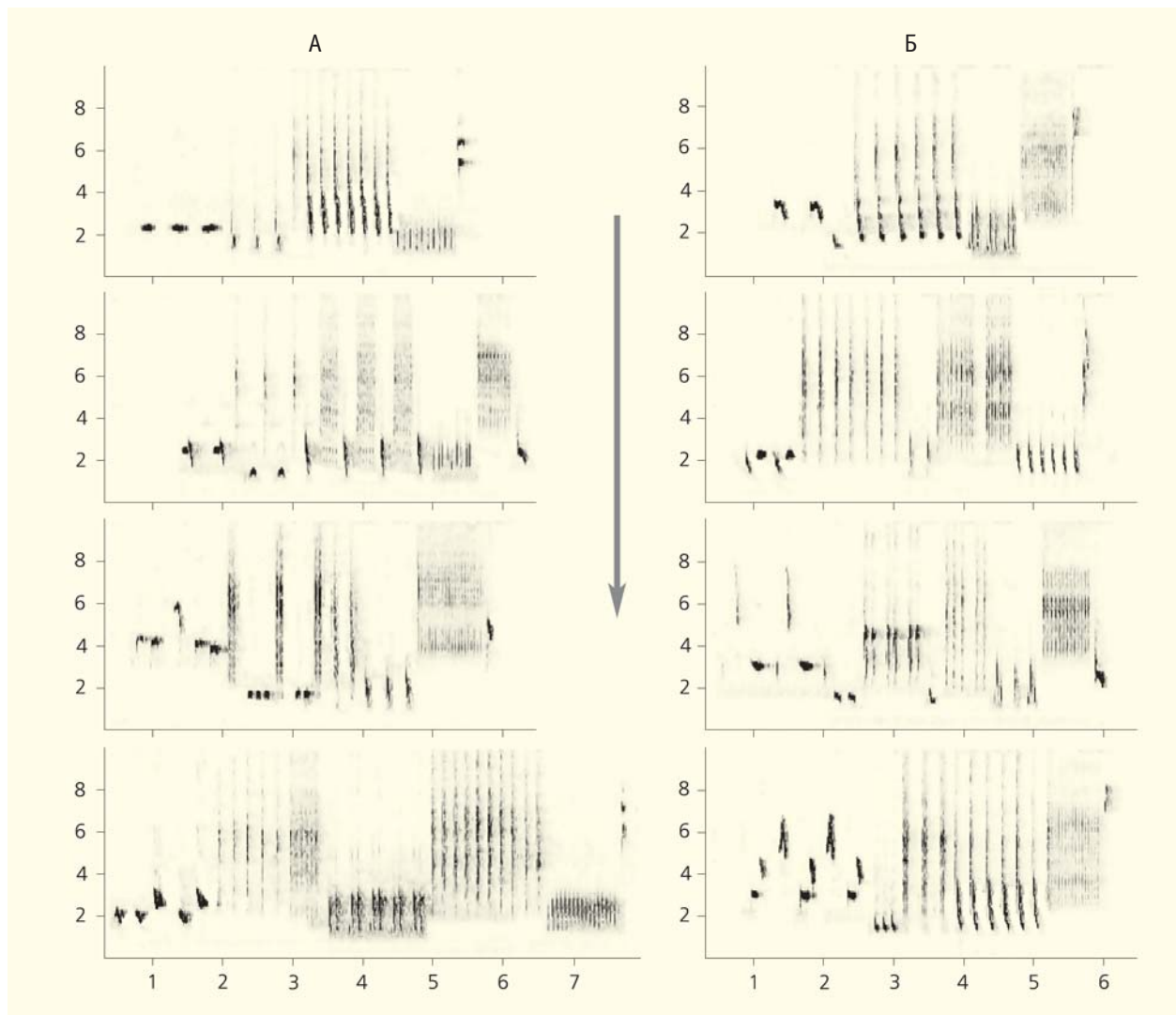


Рис.7. Популярные типы песен московских соловьев и две стереотипные программы их исполнения (А и Б). Стрелка показывает последовательность исполнения. Цифры по оси ординат — частоты (кГц), по оси абсцисс — отсчет времени (с).

### Вокальная культура в пространстве

Разъезжая с магнитофоном по московским паркам, мы все больше убеждались в том, что вся территория столичного мегаполиса заселена соловьями, приверженными к единой вокальной культуре. Повсюду — в долинах Яузы, Сетуни и Москвы-реки, в Нескучном саду на Воробьевых горах и в Ботаническом рядом с ВДНХ, в Измайловском парке и Серебряном Бору, на Царицынских прудах, в Битцевском лесопарке и, конечно же, вокруг родного нашего биофака — соловьи исполняют одинаковые типы песен, причем зачастую в той же последовательности. Основу этой вокальной культуры создают полтора десятка типов песен, которые в разных сочетаниях присутствуют в репертуарах практически всех московских соловьев. Лишь немногие из них разнообразят «стандарт» ориги-

нальными типами песен, которые обычно и встречаются лишь у единственного исполнителя. Явные гастролеры — залетные гости с территорий, занятых совершенно иными вокальными культурами, — в Москве встречались редко. В их вокальном творчестве полностью отсутствовали типичные песни и даже составляющие их элементы (колена) московского репертуара.

После того как мы вдоволь наслушались московских соловьев и насмотрелись на их сонограммы, нас просто не мог не заинтересовать вопрос, как далеко за пределы города распространяются основные элементы столичной вокальной культуры? Как велик ее ареал, насколько резко отграничена она от сопредельных культур? Ответить на эти вопросы нелегко, потому что для этого требуется обследование обширных территорий и изучение репертуаров сотен соловьев.

Первые результаты наших экскурсий по Подмосквовью оказались весьма интригующими. Некоторые московские типы песен обнаружались на пространстве от Дмитрова и Сергиева Посада на севере до долины Оки на юге, т.е. на протяжении не менее 160 км. Поразительно, что на всей этой огромной территории соловьи не только исполняют одни и те же типы песен, но и придерживаются одинаковой очередности их исполнения. В особенности широко, причем в полном составе, путешествует по области программа А (см. рис.7). В противоположность этому типы песен, объединенные в программу Б, почему-то явно избегают покидать Москву, и в области их можно услышать лишь изредка.

Что же касается границ, то севернее Дмитрова и Сергиева Посада московская вокальная культура явно сдает свои позиции, которые тут занимают иные типы песен и, естественно, другие синтаксические модели. Но зато на южной окраине области влияние сопредельных культур практически не ощущается. В пении соловьев, записанных на Оке в районе Пущина, почти в 100 км от Москвы, звучат характерные московские песни, порядок исполнения их также выглядит вполне столичным. Еще южнее (например, в заповедных лесах древнего оборонительного пояса Москвы, называемого Тульскими засеками) соловьи распевают иначе, чем в столице — в их репертуарах быстро возрастает доля новых типов песен. Похоже, что на обследованной нами территории привольно разместились ареалы трех вокальных культур восточного соловья, закономерно сменяющих одна другую при движении с севера на юг: от таежных лесов и болот Верхневолжья через хвойно-широколиственные насаждения центрального Подмосквовья к засушливому лесостепному Заочью.

\* \* \*

Расследуя секреты привлекательности соловьиного пения, мы все больше убеждались в том, что они коренятся в тех специфических особенностях, которые ближе нашему восприятию акустической информации и могут быть обработаны нашим мозгом. Значительное участие низких частот и неторопливый ритм исполнения сближают песню соловья с речью человека в большей степени, чем это можно сказать о любой другой певчей птице. Сильные звуки с плавной амплитудной модуляцией, наполняющие песню соловья, возможно, ассоциируются у нас со звучанием флейты или иных музыкальных инструмен-

тов. Наконец, принцип организации вокальной сессии из типов песен (хорошо различимых на слух дискретных вокальных конструкций, построенных по сходному плану, но притом весьма переменных) отчасти напоминает основной композиционный прием, используемый при сочинении наших песен. Как известно, они состоят из куплетов — одинаковых по мелодии, различных по тексту и всегда исполняемых в одном и том же порядке.

Московская популяция восточных соловьев, избравшая местом своего проживания территорию гигантского современного мегаполиса, представляет собой уникальный природный феномен, научное и культурное значение которого невозможно переоценить. Ведь соловьиное пение во все времена не оставляло равнодушными людей вне зависимости от их причастности к миру профессиональной орнитологии. Можно еще раз вспомнить о том, что соловьиные «охотники», жившие во времена Тургенева и Аксакова, оставили нам поразительно яркие и по-своему изощренные описания пения этих птиц. Нынешним орнитологам, в том числе и авторам этой статьи, остается лишь горько сожалеть о том, что у них не было магнитофонов и они не имели возможности сохранить для потомков материальную основу своих словесных описаний. Скорее всего, мы никогда не узнаем, как могли бы выглядеть на экране компьютера те знаменитые некогда колена соловьиной песни, названия которых навсегда сохранились в литературе. А кому из нас не хотелось бы взглянуть на «смирновский свист», «кукушкин перелет», «водопойную», а тем более «лешеву дудку», узнать исполняются ли они сейчас или уступили свое место в соловьином репертуаре под натиском вокальных инноваций?

За три года работы мы не нашли каких-либо изменений в пении московских соловьев, но это, конечно, не срок. Мы надеемся, что сделанные нами записи, сохраняемые на цифровых носителях, могут служить отныне точкой отсчета для дальнейших исследований эволюции вокальных культур восточного соловья. Но для этого нам стоит позаботиться об их благополучии, и прежде всего сохранить наши парки, в потаенных уголках которых еще чувствуется аромат дикой природы. И, похоже, как раз сейчас настало время объединить все усилия ради того, чтобы масштабное «окультуривание», недавно затеянное московскими властями, не погубило имеющие вековую историю ландшафты московских парков. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект №10-04-483.**

# ***Байкальский рифт: на пути к океану***

В.Д.Мац, Л.З.Гранина, И.М.Ефимова



Озеро Байкал, занимающее Байкальскую рифтовую впадину в центральной части Байкальской рифтовой зоны (рис.1), с давних пор привлекает внимание путешественников, естествоиспытателей различных направлений и самые широкие слои населения России и зарубежных стран.

Научные исследования здесь начались в XVIII в. С первыми экспедициями Российской императорской академии наук на Байкале связаны имена Д.Г.Мессершмидта, И.Г.Гмелина, И.Г.Георги, П.С.Палласа и др. В конце XIX в. политические ссыльные — поляки Б.И.Дыбовский, А.Л.Чекановский, И.Д.Черский, — а также российские геологи В.А.Обручев и М.М.Тетяев заложили основы современных научных представлений о строении, геологии и биологии Байкала. В начале XX в. была организована Байкальская научная экспедиция, преобразованная затем в Байкальскую лимнологическую станцию Академии наук СССР. Ее основатель и научный руководитель — один из крупнейших лимнологов страны — Г.Ю. Верещагин. На базе этого первого академического учреждения за Уралом позднее, в 1961 г., возник Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук. В 1990 г. по инициативе его директора М.А.Грачева создается первый в стране Международный центр научных экологических исследований на Байкале. Хотя и раньше здесь реализовывались крупные междисциплинарные научные проекты, с привлечением научных коллективов из Бельгии, Великобритании, Германии, США, Швейцарии, Японии и других стран исследования перешли на новый уровень и принесли чрезвычайно много научной информации.

Одними из приоритетных научных направлений стали палеоклиматические реконст-



**Виктор Давидович Мац**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, долгое время работал в Лимнологическом институте СО РАН. Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов — региональная геология юга Восточной Сибири, рифтогенез.



**Либа Залмановна Гранина**, доктор геолого-минералогических наук, работала в том же институте. Специалист в области геохимии донных отложений, гидрохимии, лимнологии Байкала.



**Ирина Михайловна Ефимова**, младший научный сотрудник Института Земной коры СО РАН. Круг научных интересов охватывает вопросы геоморфологии и палеогеографии Байкальской впадины.

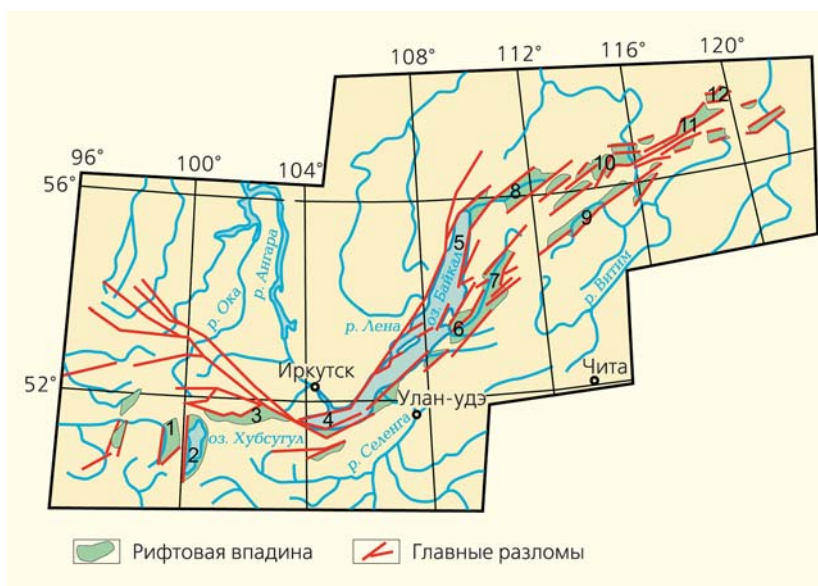


Рис.1. Байкальская рифтовая зона. Цифрами на схеме обозначены крупные рифтовые впадины: Дархатская (1), Косогол (2), Тункинская (3), Южнобайкальская (4), Северобайкальская (5), Усть-Баргузинская (6), Баргузинская (7), Верхнеангарская (8), Ципинская (9), Муйская (10), Чарская (11), Токкийская (12).



Рис.2. Буровая платформа на барже, вмороженной в лед. Максимальная глубина пробуренных донных отложений Байкала 600 м. Детальное комплексное изучение полученных кернов позволило разработать уникальный пространственно-временной геохронометр и восстановить этапы развития природы за отрезок времени в 8 млн лет (с позднего миоцена).

Фото В.А.Короткоручко

рукции, установление деталей строения и истории геологического развития Байкальской впадины как типовой структуры континентального рифта. Для решения данных задач очень важно изучение осадочной толщи, заполняющей впадину, методами морской геологии. Это сейсмостратиграфическое зондирование и подводные исследования на обитаемых аппаратах «Пайсис» и «Мир». Особенно больших усилий потребовали разработка и реализация глубоководного научного бурения озерных осадков. Проект «Байкал-бурение» (рис.2) был предложен американским профессором Университета Южной Каролины Д.Вильямсом, а выполнялся под руководством академика М.И.Кузьмина [1]. Наряду с новыми подходами продолжалось изучение традиционными геологическими и геофизическими методами [2, 3]. Новейшие и ранее полученные данные позволили достаточно детально и достоверно охарактеризовать геологические и геофизические особенности Байкальской впадины, реконструировать ее геологическую историю и использовать полученные материалы для изучения общих вопросов рифтогенеза, палеоклимата, глобального прогноза климатических изменений, биологической эволюции, биоразнообразия, астрофизических явлений и др. Байкал стал подлинной природной научной лабораторией.

## Тектонотип континентального рифта

Со времен работ Е.В.Павловского [4], показавшего родство байкальских структур со структурами великих восточноафриканских озер, а главным образом после исследований Н.А.Флоренсова [5] Байкальская впадина рассматривается как внутриконтинентальный рифт (от англ. rift — расселина, трещина, впадина). Этот термин ввел в науку в 1896 г. английский геолог Дж.Грегори. Так он обозначил Кенийский грабен в Восточной Африке.

Рифтовые впадины часто вмещают крупные озера (такова, например, впадина оз.Танганьика). Эти линейные грабеновые структуры ограничены с одной или двух сторон разломами (сбросами и сдвигами) и разделены перемычками, в которых на поверхность выходят древние породы фундамента. Впадина вместе с осложняющими ее структурами и сопровождающими горными поднятиями (плечами) и составляют рифт (рис.3, 4).

Сбросы, ограничивающие впадины и выполаживающиеся с глубиной, называются листрическими, а те, амплитуда которых по простиранию изменяется, — шарнирными. Особенности геометрии сбросов играют важную роль в развитии рифтовых впадин [6].

Рифты формируются в условиях напряжений растяжения, тогда как все структуры континентальной земной коры существуют в условиях сжатия. Вследствие этого блоки, разделенные рифтом, отдаляются друг от друга, что на ранней стадии развития и приводит к образованию континентальных впадин, которые разделяют отодвигающиеся блоки.

Исследования океанов и последовавшая за этим разработка теории «новой глобальной тектоники» показали, что образование океана происходит через рифтогенез. С ним связано раздвижение и утонение континентальной земной коры, ее разрыв, внедрение во вновь образовавшуюся зону глубинных масс и формирование океанической коры. Этот процесс обозначают термином «спрединг» (раздвиг). Дальнейшее его развитие приводит к удалению друг от друга континентальных бортов первоначального рифта, расширению зоны океанической коры, формированию океана. Одним из наиболее выразительных примеров такого развития служит Атлантический

океан. В его центральной зоне возникают срединно-океанический хребет и рифт, в раздвигающуюся зону которого внедряются субвертикальные тела глубинных пород. Последние в каждый данный момент образуют океаническую кору, а более древние участки дна отодвигаются к периферическим частям океана. Таким образом происходит его разрастание. Этот процесс настолько доказательно аргументирован, что вошел в учебную литературу [7].

Идея о принадлежности Байкальского рифта к такому эволюционному ряду геологических

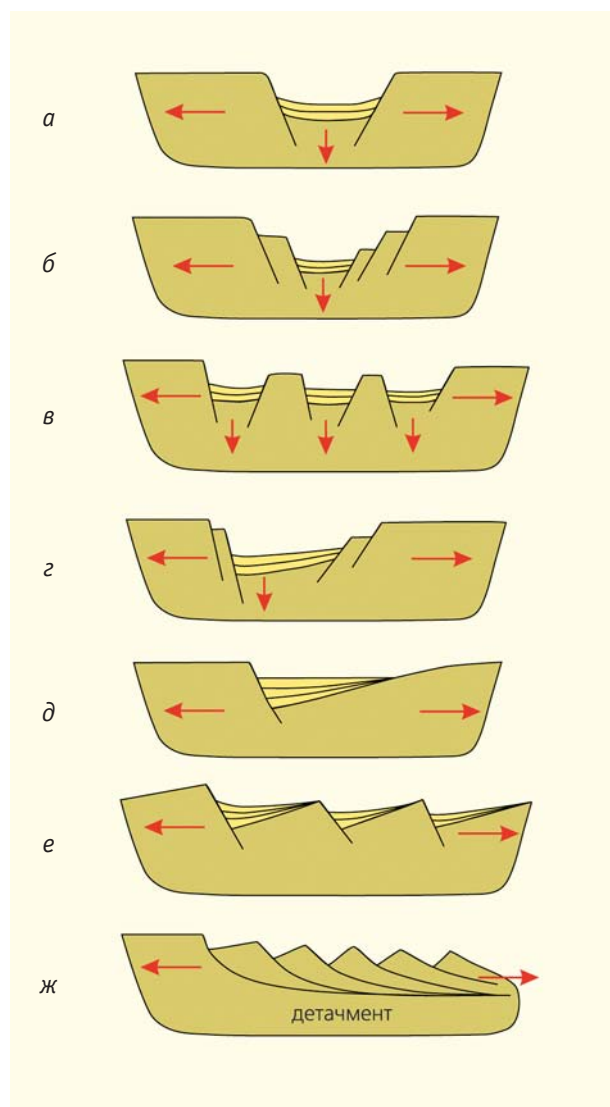


Рис.3. Грабеновые структуры рифтовых впадин: *а* — простой симметричный грабен; *б* — ступенчатый (телескопированный); *в* — клавиатура блоков; *г* — асимметричный грабен; *д* — полуграбен на наклонном блоке; *е* — комбинация полуграбенов; *ж* — система из односторонне наклоненных блоков, относительно смещенных по листрическим сбросам и опирающихся на субгоризонтальную поверхность срыва растяжения (детачмент).

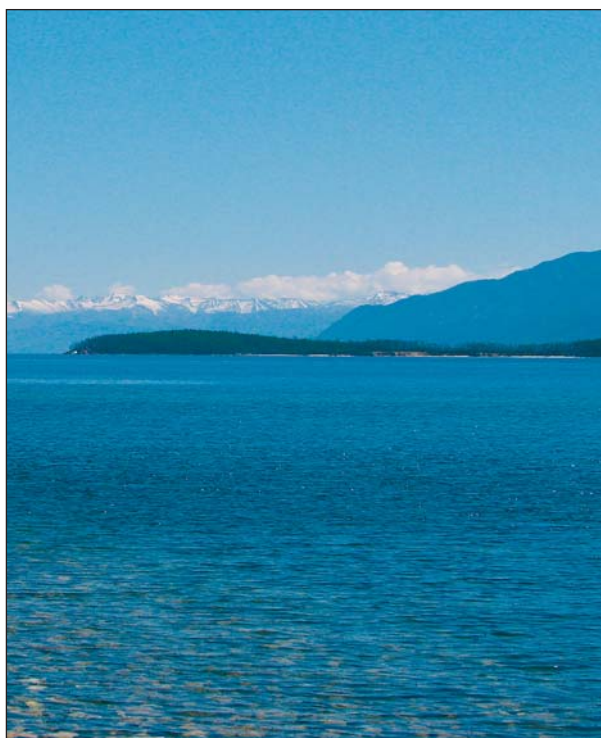


Рис.4. Горные хребты окаймляют рифтовую впадину. Вверху: заснеженные вершины Байкальского хребта — северо-западное плечо. Внизу: Баргузинский хребет (на дальнем плане) — восточное плечо; хребет п-ова Святой Нос (справа) и Ушканий о-ва (ближний план) — вершины подводного Академического хребта, разделяющего Северную и Центральную впадины Байкала. Вид с о.Большой Ушканий.

Фото И.М.Ефимовой



структур, поступательное развитие которых в конечном итоге приводит к образованию океана, далеко не нова. Покажем три стадии развития рифтогенеза — три показательных примера.

Байкальский рифт, в котором сохранилась континентальная кора, но ее мощность на данном этапе существенно сокращена, а борта раздвинуты незначительно — на 15–20 км.

Красноморский рифт, где континентальная кора разорвана и отодвинута на несколько сотен километров, а в зону разрыва активно внедряются глубинные массы.

И наконец, Атлантический океан. Здесь континентальные массы раздвинуты и удалены на тысячи километров, а посередине сформировался океанический хребет, в центральной части которого протягивается рифтовая впадина и реализуется спрединг.

Это, конечно, не означает, что каждый континентальный рифт обязательно преобразуется в океан. Рифтогенез может прерваться на одной из ранних стадий.

В приведенной схеме Байкальский рифт фигурирует в качестве начальной стадии формирования океана, и, казалось бы, наше рассмотрение не отличается новизной. Но это не так, поскольку только сейчас в результате новейших исследований стало возможным подтвердить это общее положение конкретными научными аргументами.

В Байкальской впадине установлен ряд явлений, которые свойственны океанам и неизвестны в других пресноводных озерах. Особенности строения впадины, вещественный состав ее донных отложений и протекающие в них физико-химические процессы свидетельствуют о том, что Байкал находится на пути превращения в океан.

## Строение Байкальской впадины

Некоторые особенности морфологии и строения осадочного чехла сближают Байкал с морскими и океаническими бассейнами. Черты сходства отчетливо проявляются в строении западного борта Байкальской впадины и пассивных (восточно-атлантического типа) окраин океана. Это связано с наличием крутого сбросового подводного склона, переходящего в высокий и крутой надводный, а также с высокой сейсмической активностью (рис.5). В рельефе Байкальской впадины, как и в океане, выделяются шельф, склон (как некоторый аналог континентального склона), совпадающий с разломной зоной, и глубоководная аккумулятивная равнина. Шельф на Байкале очень узкий, местами он отсутствует, и подводный разломный склон непосредственно продолжается в надводной части.

Морфология западного борта определяет многие важные черты седиментации. Механизм транспортировки терригенного материала и осадкона-

копления в Байкале существенно отличается от присущего мелководным плоским озерным бассейнам и приближается к характерному для водоемов морского и океанического типа. Близкое соседство наземных и подводных крутосклонных элементов берега способствует трансформации селевых потоков, зарождающихся в надводной части склонов, в подводные мутьевые (суспензионные) потоки. Их образованию также способствуют оползневые явления, развитие которых связано не только с гравитационной неустойчивостью слабо консолидированных осадков, но и с сейсмической активностью рифта, с наличием скоплений газогидратов. Склон, подобно океаническому, расчленен поперечными подводными каньонами-разломами, соединяющими зону шельфа с подножьем. К последнему, так же как и в океане, примыкает зона «лавиной седиментации» [8]. Ее существование подтверждено нахождением депоцентов (зон максимальной мощности) донных отложений у подножия западного борта впадины [9].

По подводным каньонам мутьевые потоки достигают глубоководной равнины. Здесь переносимая ими терригенная часть вещества осаждается под действием гравитационной дифференциации, образуя слои турбидитов, которые на Байкале подробно изучаются [10, 11]. Подобные отложения весьма характерны для современных морских и океанических осадков, а их древний аналог — флиш — типичен для геологических разрезов геосинклиналей. В современных озерах, где отсутствуют контрастные сочетания высоких крутых склонов и плоского дна, турбидиты не образуются.

Ультраглубоководная (более 1000 м) зона Байкала не была присуща ему изначально. Она сформировалась сравнительно недавно, около 1 млн лет назад. А современных глубин (более 1600 м) Байкал достиг всего лишь 150–120 тыс. лет назад. Образование глубоководной зоны послужило толчком к появлению специфических животных. Свидетельством недавнего существования глубоководных форм гидробионтов может служить образ жизни эндемичной байкальской рыбки голомянки, которая в течение суток мигрирует из глубин к приповерхностным слоям.

Континентальный склон пассивных окраин океанов во многих случаях осложнен краевыми плато. Это плато Блэйк у берегов Флориды, Вёринг у берегов Норвегии, Иберийское напротив побережья Испании, Эксмут и Квинслендское около Австралии и многие другие [7]. Плато ограничены лирическими сбросами, поэтому их поверхность наклонена в сторону континента (см. рис.4,ж).

Для морфоструктуры байкальских склонов характерны краевые ступени — миниатюрный аналог краевых плато океана. Это значительных размеров тектонические блоки, выделяющиеся в надводном и подводном рельефе. Наиболее вырази-

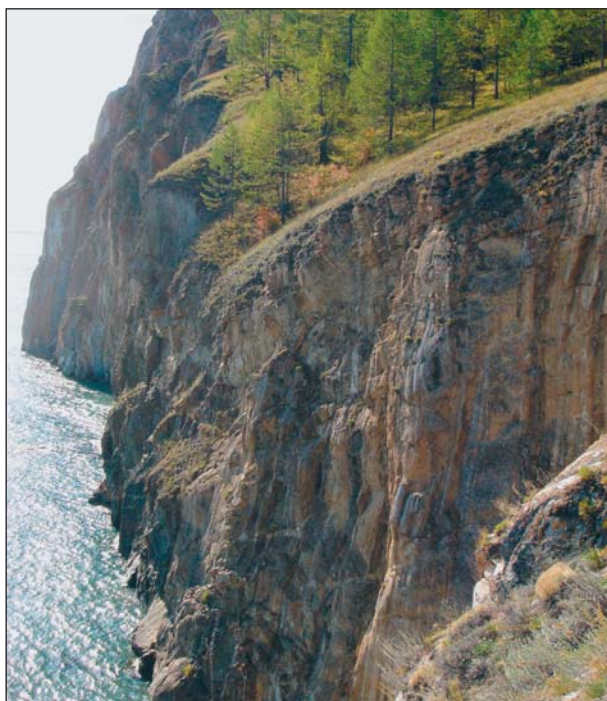


Рис.5. Гигантские уступы в надводном и подводном рельефе рифтовой впадины. Вверху слева — западный борт Средне-Байкальской впадины, Ольхонская краевая разломная зона, сбросовый бортовой уступ, выраженный в надводном рельефе. Справа — юго-западный борт краевой разломной зоны Южно-Байкальской впадины, разлом Черского. Район Кругобайкальской железной дороги. Внизу — внутреннее строение разломной зоны, которая включает множество частных тектонических блоков, разделенных разрывными смещениями. Восточный склон Ольхонского блока. Район метеостанции Узур.

Фото И.М.Ефимовой  
(вверху слева и внизу)  
и Е.Г.Вологиной



тельно надводные Приольхонская и Котельниковско-тыйская ступени. Они вытянуты вдоль рифта на многие десятки километров, а в ширину достигают 20—30 км. Их малый подводный аналог — Заворотненская ступень (в районе мыса Заворотный). Краевые ступени примыкают к западному (северо-западному) бортовому разлому Байкальской впадины. Платообразная поверхность ступеней полого наклонена к поднятому плечу рифта, что также обусловлено листрическим типом разломов, ограничивающих блоки. Формирование выполаживающихся сбросов, по-видимому, связано с наличием системы древних надвигов на

границе Сибирской платформы и Байкальской складчатой области. При образовании рифта в условиях напряжений растяжения шарьяжно-надвиговые структуры сжатия преобразовались в листрические сбросы. Структура бортовых зон Байкальского рифта в области развития краевых ступеней в миниатюре повторяет структуру пассивных окраин океана (рис.6). Это вполне объяснимо, так как развитие пассивной окраины осуществляется через рифтогенез.

Определенное сходство обнаруживается также в строении осадочных толщ Байкала и океана. Общая мощность осадочных отложений озера дости-

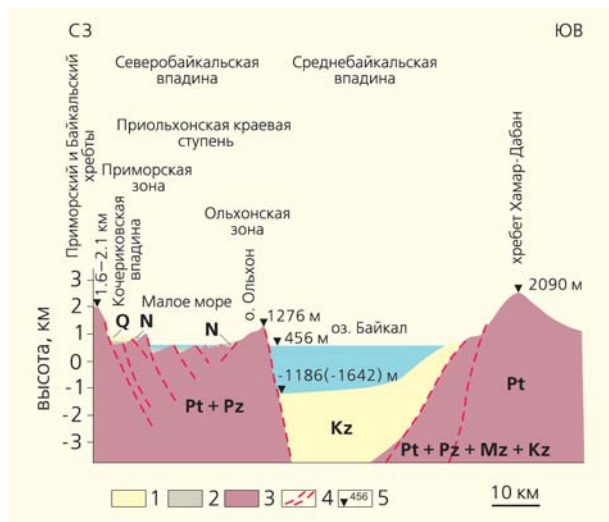


Рис.6. Схема морфоструктуры Байкальского рифта. Сечение по профилю: западное поднятое плечо (Байкальский и Приморский хребты) — Приморская разломная зона (западный краевой разлом Северо-Байкальской впадины) — юго-западное окончание Северо-Байкальской впадины (Приольхонская краевая ступень, Маломорский блок, Ольхонский блок) — Ольхонская краевая разломная зона — Средне-Байкальская впадина — юго-западное поднятое крыло (хребет Хамар-Дабан). 1 — валунники и галечники; 2 — глины и алевроиты; 3 — кристаллические породы; 4 — разломы.



Рис.7. Карта мощности донных отложений Байкала [8]. Области их максимальных мощностей (депоцентры) прижаты к западным (северо-западным) бортам Байкальской впадины, где проходят ограничивающие ее краевые разломные зоны. Такое распределение мощностей — свидетельство общего наклона фундамента Байкальского рифта к западу (северо-западу), что обусловлено литрическими краевыми разломами.

гает 8.5 км [9], что близко к мощности океанской осадочной толщи. Область максимального накопления осадков (депоцентр) на Байкале прижата к подножию западного борта, куда с крутого борта впадины поступает основная масса терригенного вещества (рис.7). Более крупный обломочный материал накапливается вблизи борта, а мелкозем мутьевыми потоками выносится к подножию и на глубоководную равнину — некоторое подобие зоны лавинной седиментации океанических бассейнов. Осадочный клин (если отвлечься от района дельты р.Селенги) утоньшается до 1.5—2.0 км к восточному борту впадины. Одновременно возраст базальных слоев уменьшается, и на фундаменте, поверхность которого наклонена в сторону поднятого плеча рифта, лежат более молодые слои. Можно предполагать, что в основании осадочной толщи сформировалось несогласие растяжения, характерное для океанических бассейнов. Однако основной механизм, регулирующий мощность осадочной толщи океана, принципиально иной. Там он определяется огромными размерами океанической впадины, а на Байкале — концентрацией значительной части терригенного вещества в прибортовой зоне. Скорее всего, океанический механизм начнет действовать значительно позднее, когда (и если) Байкальская структура в развитии достигнет собственно океанской стадии.

### Состав донных отложений, газогидраты и нефтепроявления

Благодаря многолетним исследованиям, проведенным сотрудниками Лимнологического института СО РАН, установлены особенности строения, состава донных отложений и протекающих в них диagenетических процессов, многие из которых не свойственны пресноводным озерам, а присущи морям и океанам [12]. Так, Байкал — единственный пресный водоем, в котором найдены газовые гидраты — твердая смесь воды и метана, в которой на один объем воды приходится 150—180 объемов метана. Первые упоминания о возможности существования здесь газогидратов относятся к концу 1970-х годов. Тогда подняли насыщенные газом керны с нарушенной первичной структурой, что было расценено как последствия разложения газогидратов.

В 1989—1992 гг. при сейсмостратиграфических исследованиях А.Я.Гольмшток обнаружил в толще осадков «кажущуюся отражающую границу». По аналогии с морскими и океаническими разрезами он интерпретировал ее как границу устойчивости газовых гидратов, насыщающих толщу осадков — зону их стабильности. В 2002 г. В.А.Голубев, основываясь на результатах изучения теплового потока через дно Байкала, также предположил их существование. Эти предвидения хорошо увязывались с известными на Байкале уже около 150 лет

находками нефтяных пленок и скоплений горючего газа подо льдом. В 1997 г. при проходке скважины по проекту «Байкал-бурение» в керне, поднятом с глубин 120 и 160 м, в донных осадках обнаружены кристаллы газогидрата.

Эти образования широко распространены в морях и океанах, но не в пресноводных водоемах. Исключительная глубина водной толщи озера, низкие температуры воды, достаточное количество органического вещества, захороненного в осадках, обеспечивают формирование в Байкале газовых гидратов метана. Эта особенность более других придает озеру сходство с океаном, позволяя называть Байкал «пресноводным океаном» [13]. В последовавших затем специальных экспедиционных работах российские и бельгийские исследователи установили, что зона стабильности газогидратов прерывается у разломов, по которым высокие газовые струи выходят в толщу воды. Локацией бокового обзора сотрудники ВНИИОкеанологии (Санкт-Петербург) над выходами газов на дне, на глубинах более 1300 м, обнаружили цепочки грязевых вулканов (рис.8).

Зимой сотрудники Лимнологического института с помощью грунтовых трубок, опущенных со льда, подняли слои газогидратов, залегающие в грязевых вулканах почти непосредственно под поверхностью дна [14].

Возникновение газогидратов тесно связано с диагенетическими процессами [12]. Например, согласно теоретическим расчетам, в Байкале не должно происходить диагенетического образования карбонатов. Тем не менее, недавно в осадках обнаружен аутигенный карбонат железа — сидерит, образующийся здесь так же, как и в морских отложениях, содержащих газогидраты.

Результаты комплексных исследований свидетельствуют, что в отложениях, включающих гидраты, доминируют метаногенные процессы. В осадках отмечаются повышенные концентрации бентосных организмов, пищевая цепь которых, по-видимому, базируется не на фотосинтетической, а на хемосинтетической первичной продукции [13]. В этой особенности также просматривается сходство с океаническими бассейнами.

С XVIII в. на Байкале известны природные выделения нефти. У восточного берега озера их начали интенсивно изучать с 1902 г., но лишь в последние годы обнаружены и изучены выходы байкальской нефти [15]. Она в виде битума иногда обнажается в береговых обрывах восточного побережья. На берегах озера встречается байкерит. Его изотопный состав ( $\delta^{13}\text{C}$ ) идентичен составу байкальской нефти. В Среднем и Южном Байкале она поступает со дна на поверхность, образуя пятна вблизи восточного берега. Летом там часто появляются «гудроновые шарики» вязкой деградированной нефти. Зимой она скапливается подо льдом в узких трещинах в виде битуминозных пленок и включений.

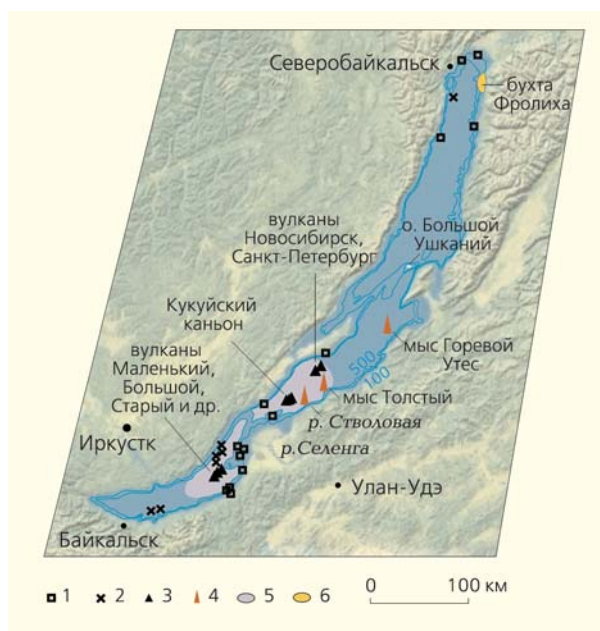


Рис.8. Схема размещения газогидратных провинций, активных выходов метана, грязевых вулканов, нефтепроявлений [13, 15]: 1 — мелководные выходы газов; 2 — глубоководные выходы газов; 3 — грязевые вулканы; 4 — районы нефтепроявлений; 5 — области аккумуляции гидратов; 6 — район гидротермальной разгрузки.

В 2005 г. обнаружено мощное нефтепроявление в глубоководном Байкале. В Средне-Байкальской впадине у мыса Горевой Утес (см. рис.8) на поверхности воды площадью 1 км<sup>2</sup> наблюдались многочисленные пятна нефти диаметром до 1 м, а эхолотированием выявлен газовый факел высотой около 500 м. По возрастным оценкам, эта нефть образовалась в мелу — раннем миоцене, когда климат Прибайкалья приближался к влажному субтропическому. С позднего миоцена при семиаридном—аридном климате образование нефти, по-видимому, в основном прекратилось. Подтверждением тому служат находки нефтегазовых проявлений только в тех местах Байкальской впадины, где присутствуют древние позднемиоловые—среднемиоценовые отложения (рис.8, 9). Это позволяет считать нефть и вмещающие ее породы разновозрастными образованиями.

Исследованы нефтепроявления в устье р.Стволовой (мощностью около 0.3 т в год), у мыса Толстый (до 2 т год), у мыса Горевой Утес (до 4 т в год). Источники этих нефтей — кайнозойские отложения [15], нефть же образовалась из органического вещества пресного водоема с существенной долей органического вещества высшей наземной растительности. Это свидетельствует об озерном или дельтовом происхождении меловых и более молодых материнских свит. Байкальская нефть, таким образом, качественно отличается от древних нефтей Сибирской платформы.

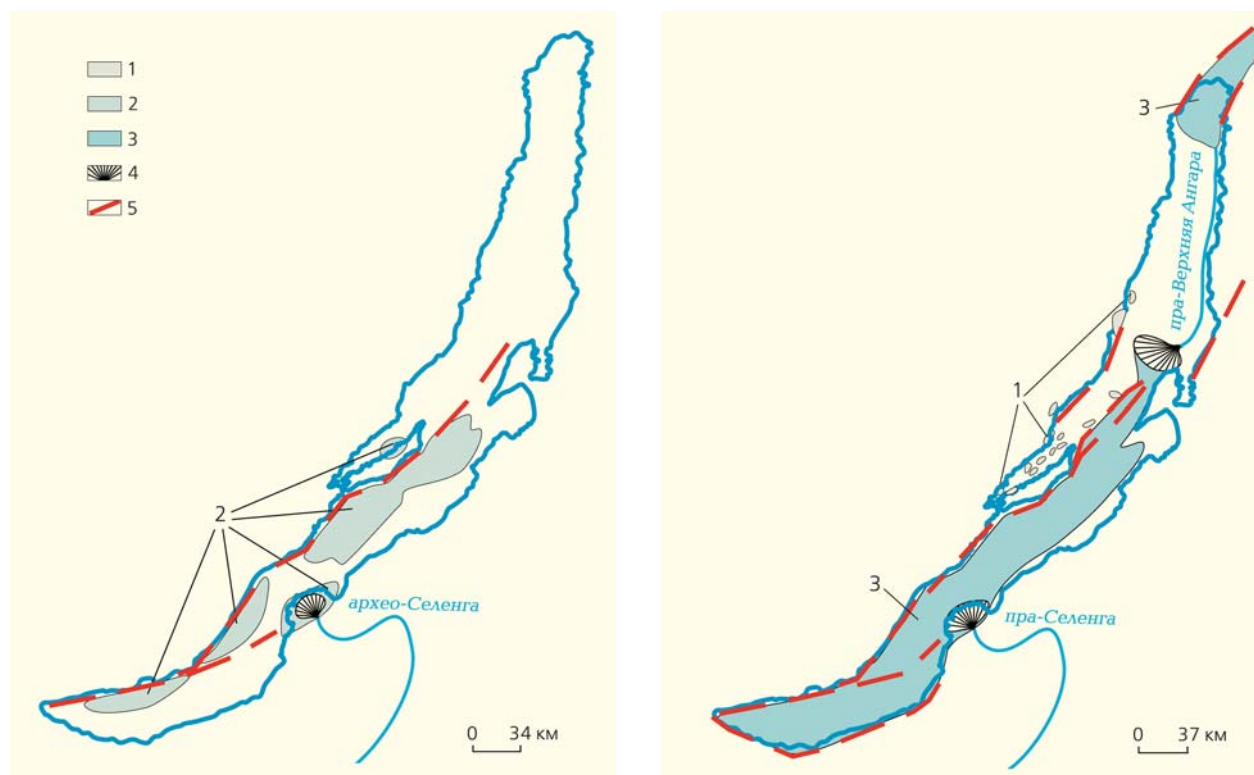


Рис.9. Бассейны осадконакопления в позднем мелу — среднем миоцене (70—10 млн лет назад) [16]. Слева — археобайкальский этап (маастрихт — ранний олигоцен, 70—30 млн лет назад); справа — протобайкальский этап, ранний подэтап (поздний олигоцен — средний миоцен, 30—10 млн лет назад). 1—3 — озера глубиной: 1 — несколько метров (местами переходящие в болота), 2 — несколько десятков метров, 3 — несколько сотен метров; 4 — дельты; 5 — основные разломы.

В районе мыса Горевой Утес с аппаратов «Мир» исследовались битумные постройки на дне [17]. Здесь обнаружили отдельно стоящий холм высотой до 10 м и диаметром 50 м. На его периферии наблюдались газовые факелы. Вблизи них встречались более мелкие постройки, иногда с вертикально стоящими на вершине трубками-«капельницами», через которые регулярно высачиваются капли нефти. В битуме из холма численность культивируемых микроорганизмов, окисляющих углеводород, почти в четыре раза выше, чем в прилегающих донных осадках. На образованиях, покрытых каплями нефти, отмечалось обилие различных глазом животных: более сотни на 1 м<sup>2</sup>. Это на порядок выше плотности поселения на контрольных участках дна. Удивительно не только обилие животных в зоне разгрузки нефти, но и их принадлежность к распространенным в глубоководной зоне Байкала родам и видам. Вероятно, данное биологическое сообщество не зависит от поступления органического вещества, полученного за счет фотосинтеза. Источником пищи служат продукты жизнедеятельности разнообразных, обитающих здесь окисляющих углеводород микроорганизмов. Благодаря им экосистема озера эффективно справляется с естественным загрязнением воды углеводородами.

По объемно-статистическим оценкам, начальные геологические ресурсы в осадочных бассейнах Байкала составляют ~500 млн т углеводородов [15]. Хотя теоретически их промышленные скопления и могут быть найдены, ущерб озеру от поисковых, разведочных и эксплуатационных работ может стать невосполнимым. В настоящее время общепризнано, что осадочные бассейны в акватории Байкала — уникальная природная лаборатория современной генерации нефти и газа. Именно в этом заключается наибольшая ценность проводимых здесь исследований. Совместно с японскими учеными разрабатываются и апробируются методы добычи газовых гидратов — топлива будущего, ресурсы которого на планете огромны, но пока недоступны. В морях, а тем более в океанах, подобные исследования проводить практически невозможно.

### Физико-химические процессы, протекающие в донных отложениях

Климат и глубина определяют некоторые особенности гидрологического режима Байкала. Конвективное перемешивание деятельного слоя (до 150—250 м) происходит здесь весной и зимой,

когда температура поверхности ниже, чем в глубинной зоне. Воды Байкала за счет течений регулярно обновляются. Это, наряду с низкой биологической продуктивностью, приводит к постоянному обогащению водной толщи до самого дна кислородом. Частицы взвеси, оседая здесь, интенсивно реминерализуются. Почти весь автохтонный органический углерод, биогенный кремний и другие потребляемые планктоном элементы растворяются, не достигая дна, и вновь включаются в круговорот. Например, вклад реминерализации в биологическое потребление фосфора в Байкале составляет 96%, а в океане — 99%, вклад диагенетической регенерации — 3%, а в океане — 1% [18]. Таким образом, в Байкале, как и в океане, реминерализация биологических частиц — основной процесс, обеспечивающий первичное продуцирование биогенных элементов. Диагенетическая регенерация осадков играет второстепенную роль.

По содержанию органического вещества в поверхностных осадках Байкал можно поставить в один ряд с морскими бассейнами и крупными озерами морского типа, тогда как во внутриматериковых пресноводных озерах концентрация органики значительно выше.

Насыщенность воды кислородом определяет окисленность поверхностного слоя осадков на большей части дна (что характерно для морей и океанов, но не для озер). Потому в Байкале развит океанический тип окислительно-восстановительного, или редокс профиля. Мощность образующегося окисленного слоя зависит от глубины проникновения кислорода в осадки, а черно-коричневый цвет — от присутствующих в нем оксидов железа и марганца. Граница между окисленными и восстановленными осадками определяется окислительно-восстановительной (или редокс) границей.

Скорость осадконакопления убывает от периферии к центру озера, и, как следствие, в том же направлении растут мощность окисленной зоны и редокс-потенциал верхнего слоя осадков, что, повторим, соответствует океаническому типу редокс профиля.

В окисленных отложениях Байкала интенсивно накапливаются оксиды Fe и Mn. Их диагенетическая дифференциация приводит к формированию вторичных корок, стяжений, конкреций. Эти процессы подобны тем, что протекают в морях и гемипелагических районах океана. Концентрации Fe и Mn в глубоководных железомарганцевых образованиях Байкала, а также уровень их обогащения марганцем и микроэлементами бывают сопоставимы с их концентрациями в океанических конкрециях.

В Байкале широко распространены реликтовые железомарганцевые микрзоны, образование которых может быть обусловлено и залповыми выбросами терригенного материала, и недостат-

ком активного органического вещества, подобно тому как это отмечено в океане. На Академическом хребте, который был вовлечен в область седиментации значительно позже остальной акватории и где минимальны скорости седиментации, нередки нестационарные диагенетические системы, аналогичные океаническим. В них из-за дефицита активного органического углерода, необходимого для редукционных процессов растворения и переотложения Fe и Mn, окислительный фронт продвигается в глубь осадка, где формируется слоистая текстура с двумя-тремя железомарганцевыми или марганцевыми прослоями. Развитая стадия окислительного диагенеза позволила применить к Байкалу модель распределения марганца в твердой и жидкой фазах осадков, предложенную для морских отложений [12].

Таким образом, процессы диагенетического перераспределения Fe и Mn в осадках Байкала аналогичны процессам в морях и гемипелагических районах океана. В то же время мощность окисленной зоны в озере при сравнительно высокой скорости осадконакопления невелика, и окисное рудообразование не находит своего завершения в его илах.

Расположение Байкала в зоне активного рифта накладывает свой отпечаток на многие протекающие здесь процессы, которые отражаются, в том числе, на составе жидкой фазы осадков. В поровых водах обнаружены разнообразные аномалии, обусловленные гидротермальными проявлениями на дне, наличием газовых гидратов, поступлением в отложения различных по происхождению и составу высокоминерализованных вод по зонам тектонических нарушений. В своей основе поровые воды — вадозные (блуждающие подземные воды атмосферного происхождения), однако к ним примешиваются и глубинные [19, 20].

Гидротермальные выходы на дне озера пока известны лишь в бухте Фролиха (Северный Байкал), но имеются предположения об их существовании и в других местах. В частности, об этом свидетельствует состав конкреции, найденной А.А.Бухаровым на глубоководном склоне о.Большой Ушканый. Слагающий ее псиломелан аналогичен псиломелану морских конкреций района активной гидротермальной деятельности. Но все-таки мощность гидротермальной разгрузки на Байкале слишком мала, чтобы влиять на состав огромной массы воды озера.

\* \* \*

Таким образом, мы показали, что в донных отложениях Байкальской впадины протекают процессы, нетипичные для озер, но характерные для океанических систем. Расчеты современных скоростей раздвижения Байкальского рифта (около 4 мм/год) позволяют оценить временной интервал, который потребует (если процессы будут продолжаться с такой же интенсивностью) для

формирования нового океана [21]. Это время соизмеримо с возрастом Атлантического океана — 200 млн лет [7]. Если предполагаемый сценарий реализуется, то вновь образованный океан можно будет назвать Неоазиатским, по аналогии с некогда существовавшим на этой территории древним океаном — Палеоазиатским [22]. С образованием нового океана завершится полный цикл развития литосферы восточного сегмента Евразии: древние палеоконтинент Сибирь и позднедокембрийско—раннепалеозойский Палеоазиат-

ский океан, сейчас позднепалеозойско—современный Сибирско-Дальневосточный континент и Тихий океан, а в будущем — неоконтинент Сибирь и Неоазиатский океан.

Мы предполагаем определенный скептицизм по отношению к нашим прогнозам (легко прогнозировать развитие событий на такой срок) и не беремся утверждать, что все так и случится за 200 млн лет. Процесс может прерваться на любой стадии, но возможность такого развития событий нам представляется весьма вероятной. ■

## Литература

1. Геология и геофизика: Спец. выпуск / Ред. М.И.Кузьмин. 2001. Т.42. №1—2.
2. Мац В.Д. Возраст и геодинамическая природа осадочного выполнения Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2012. Т.53. №9. С.1219—1244.
3. Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М. и др. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины. Строение и геологическая история. Новосибирск, 2001.
4. Павловский Е.В. Сравнительная тектоника мезозойских структур Восточной Сибири и Великого рифта Африки. М., 1948.
5. Флоренсов Н.А. Байкальская рифтовая зона и некоторые задачи ее изучения // Байкальский рифт. М., 1968. С.40—56.
6. Мац В.Д., Лобацкая Р.М., Хлыстов О.М. Механизм разрастания Байкальской впадины в ходе эволюции прибортовых морфоструктур // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. Материалы научно-практической конференции. Пос.Листвянка Иркутской обл., 18—20 марта 2008 г. / Отв. ред. О.Т.Русинек, В.А.Фиалков. Новосибирск, 2008. С.141—154.
7. Хаин В.Е., Михайлов А.Е. Общая геотектоника. М., 1985.
8. Лисицын А.П. Лавинная седиментация // Лавинная седиментация в океане. Ростов-на-Дону, 1982. С.3—27.
9. Хатчинсон Д.Р., Гольмшток А.Ю., Зоненишайн Л.П. и др. Особенности строения осадочной толщи озера Байкал по результатам многоканальной сейсмической съемки // Геология и геофизика. 1993. Т.34. №10—11. С.25—36.
10. Вологина Е.Г., Штурм М., Воробьева С.С. и др. Особенности осадконакопления в озере Байкал в голоцене // Геология и геофизика. 2003. Т.44. №5. С.407—421.
11. Голдырев Г.С. Осадкообразование и четвертичная история котловины Байкала. Новосибирск, 1982.
12. Гранина Л.З. Ранний диагенез донных осадков озера Байкал. Новосибирск, 2008.
13. Клеркс Я., Земская Т.И., Матвеева Т.В. и др. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков оз.Байкал // Докл. АН. 2003. Т.393. №6. С.822—826.
14. Хлыстов О.М. Новые находки газовых гидратов в донных осадках озера Байкал // Геология и геофизика. 2006. Т.47. №8. С.979—981.
15. Конторович А.Э., Каширцев В.А., Москвин В.И. и др. Нефтегазоносность отложений озера Байкал // Геология и геофизика. 2007. Т.48. №12. С.1346—1356.
16. Мац В.Д., Щербачев Д.Ю., Ефимова И.М. Позднемеловая—кайнозойская история Байкальской впадины и формирование ее уникального биоразнообразия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т.19. №4. С.40—61.
17. Хлыстов О.М., Земская Т.И., Ситникова Т.Я. и др. Донные битумные постройки и населяющая их биота по данным обследования озера Байкал с глубоководных обитаемых аппаратов «Мир» // Докл. АН. 2009. Т.428. №5. С.682—685.
18. Callender E., Granina L. Geochemical mass balances of major elements in Lake Baikal // Limnology and Oceanography. 1997. V.42. №1. P.148—155.
19. Гранина Л.З., Каллендер Е., Ломоносов И.С. и др. Аномалии состава поровых вод донных осадков Байкала // Геология и геофизика. 2001. Т.42. №1—2. С.362—372.
20. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, 1974.
21. Актуальные вопросы современной геодинамики Центральной Азии / Ред. К.Г.Леви, С.И.Шерман. Новосибирск, 2005.
22. Геодинамическая эволюция центрально-азиатского подвижного пояса: от океана к континенту // Геология и геофизика. 2007. Т.48. №1.

# Вечная мерзлота в долине реки Кючюс

Ю.А.Мурзин

**Н**а севере Якутии, на Янском плоскогорье, располагается одно из богатейших месторождений золота — Кючюс [1]. Наш институт заключил договор с ОАО «Янгеология», по которому предполагались работы по изучению геокриологических условий в долине р.Кючюс в районе месторождения. Необходимо было определить температуру горных пород, узнать их теплофизические свойства, оценить масштабы развития криогенных процессов и дать характеристику пространственного распространения и условий залегания подземного льда. Специально для проведения работ был создан Верхоянский полевой отряд, в который помимо автора статьи вошли Л.Г.Нерадовский и В.С.Трегубов.

Река Кючюс берет начало с восточного склона хребта Кулар и пересекает на своем пути слаборасчлененную предгорную равнину. Протяженность реки более 50 км, ее долина шириной 200—800 м представляет собой плоскую, сильно заболоченную аккумулятивную поверхность.

Месторождение Кючюс расположено в зоне Янского тектонического разлома, отделяющего Куларский террейн от Полоусненского синклиория. В геологическом строении региона участвуют осадочные породы мезозоя и рыхлые отложения четвертичного возраста, пере-



*Юрий Андреевич Мурзин, научный сотрудник лаборатории геотеплофизики и прогноза Института мерзлотоведения им.П.И.Мельникова СО РАН. Область научных интересов — процессы криоморфогенеза на севере Якутии и в горах Восточной Сибири.*



Река Кючюс.

© Мурзин Ю.А., 2014

Здесь и далее фото автора





Долина р.Кючюс.



Мезозойские терригенные отложения — толща переслаивающихся алевролитов, песчаников и аргиллитов триасового возраста, смятых в складки.

крывающие большую часть территории. Их мощность достигает 60 м и даже более.

Климат здесь резко континентальный — с низкими зимними и относительно высокими летними температурами воздуха и малым количеством осадков. Их годовая сумма составляет 180—200 мм, из них летом выпадает 85—134 мм. Среднегодовая температура воздуха  $-15,9^{\circ}\text{C}$ . Самый холодный ме-

сяц года январь (средняя температура  $-45,9^{\circ}\text{C}$ ), а теплый — июнь со средней температурой  $+9,9^{\circ}\text{C}$  [2]. По данным Верхоянской метеостанции, за последние 100 лет среднегодовая температура воздуха здесь повысилась на один градус.

**Лед в речной долине.** Суровые климатические условия привели к образованию в этом регионе сплошной толщи многолетнемерзлых пород. Их самая низкая температура (измеренная на подошве слоя годовых колебаний) зафиксирована в русловой части реки и составляет минус 9—10 $^{\circ}\text{C}$ . Несмотря на это, мощность слоя вечной мерзлоты здесь небольшая — менее 360 м (это результат высокого геотермического градиента). Столь низкие температуры пород в долине скорее всего вызваны потоком холодного воздуха, стекающим с восточного склона хребта Кулар в зимний период. Низкие температуры фиксируются и по бортам долины, где обнаружена толща полигенетических подземных льдов мощностью до 30 м. На таких участках геотермический градиент изменяется от 1,8 до 2,2 $^{\circ}\text{C}$  на 100 м, а мощность многолетнемерзлых пород возрастает до 500 м [3].

Самые высокие температуры отмечены в местах выхода на дневную поверхность скальных и полускальных пород. Вполне возможно, что повышение температур здесь вызвано отсутствием растительного покрова. Дневная поверхность скальных пород покрыта маломощным слоем щебнистого материала. В теплое время года он хорошо прогревается, поэтому и глубина летнего оттаивания здесь максимальна — 1.5 м.

Летом под руслом р.Кючюс формируется маломощный талик, но зимой он практически полностью промерзает и только в отдельных местах (под глубокими омутами) сохраняется всю зиму. Вероятно, поэтому на галечниковых косах здесь растут тополя.

В ходе маршрутных обследований долины, изучения геологических обнажений, а также анализа кернов нескольких пробуренных скважин установлены два яруса повторно-жильных льдов (ледяных жил). Верхний ярус, мощностью более 20 м, с базальной криогенной текстурой\*, залегает в склоновых отложениях. Нижний, с линзовидной криотекстурой\*\*, приурочен к аллювию и подстилается русловыми галечниками р.Яны.

**Ледяная скважина.** На правом борту долины р.Кючюс, в средней части склона, покрытого лишайничным редколесьем, была пробурена скважина (№36.05). Для лучшего представления геологического и криогенного строения склоновых отложений опишу подробно, что в ней обнаружено.

Верхняя часть разреза (0.0—0.1 м) представляет собой дернину. Ниже (от 0.1 до 0.5 м) залегает талый, влажный, оторфованный темно-серый суглинок. Следующий горизонт (0.5—1.1 м) — это тот же суглинок, но в мерзлом состоянии. До глубины 0.7 м его криогенная текстура линзовидная. Линзы льда наклонены

\* Базальная криогенная текстура характерна для грубозернистых и обломочных пород. Она образуется при их промерзании в условиях полного водонасыщения. Лед в этих случаях преобладает над горной породой, и ее обломки словно «плавают» в нем (часто не соприкасаясь между собой).

\*\* Линзовидная криогенная текстура формируется, когда ледяные включения образуют параллельные линзы, чередующиеся со слоями частиц и минеральных агрегатов, связанных льдом-цементом. Толщина линз может изменяться от долей миллиметра до десятков сантиметров. Такая текстура развивается в сильно увлажненных тонкодисперсных и песчаных грунтах различного происхождения (пойменных, морских, озерных и др.).

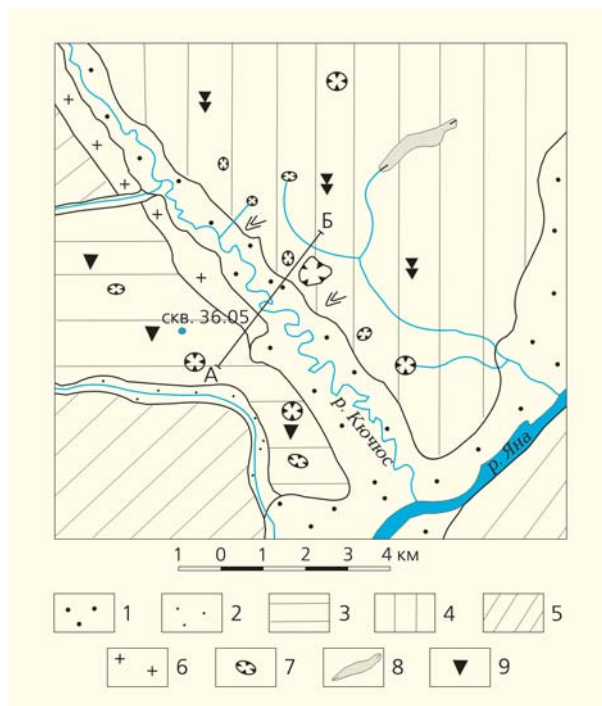
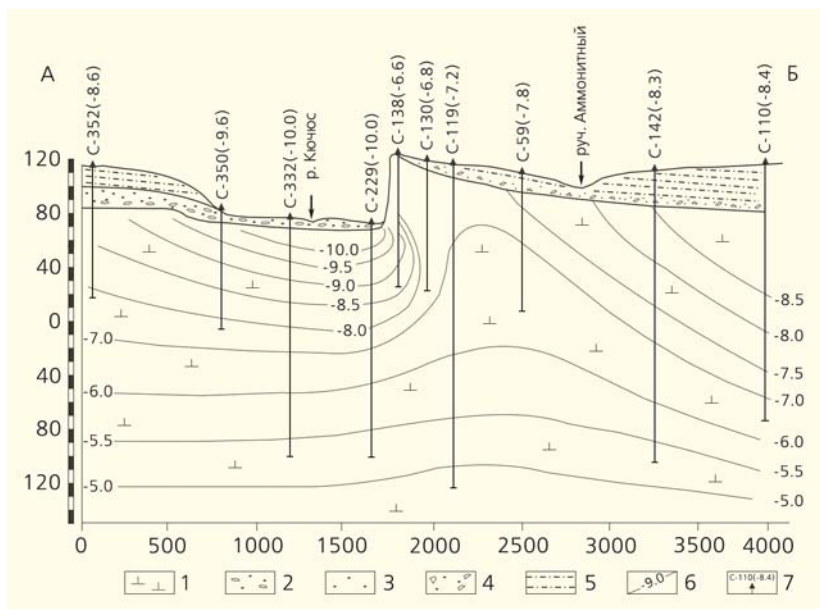


Схема долины р.Кючюс. Типы местности: долинный (1), мелкодолинный (2), пологие склоны правого и левого бортов долины (3, 4), водораздельная поверхность (5), выходы коренных пород (6). Криогенные формы рельефа: термокарстовые озера (7), котловины спущенных озер (8), крупные повторно-жильные льды в долине (9; двойной значок — два яруса льдов). Линией АБ показан геолого-геотермический профиль долины.



Геолого-геотермический профиль долины р.Кючюс. 1 — алевриты, 2 — галечники с песчаным заполнителем, 3 — песок, 4 — щебень с дресвой и супесчаным заполнителем, 5 — супесь, 6 — изотермы, 7 — скважины (указаны номер и температура на подошве слоя годовых колебаний).



Скважина №36.05. Мерзлый оторфованный суглинок с толстошлировой криогенной текстурой (а); вертикальная слоистость грунтовых примесей (б); растительные остатки (стволы лиственницы, хвоя, мох и зеленая трава), обнаруженные на глубине 27 м (в); светло-серая супесь с вертикальной шлировой криотекстурой (глубина 27.5 м), в нижней части с включениями мелкого слегка окатанного щебня, покрытого тонким слоем льда (г).

к дневной поверхности под углом  $10^\circ$ , а их толщина варьирует от 0.1 до 0.5 см. Глубже линзовидная криотекстура сменяется шлировой\*. Толщина шли-

\* Шлировая криотекстура отличается наличием прослоек (шлиров) льда. По их толщине она бывает микро- (до 0.1 см), тонко- (0.1–0.5 см) и толстошлировой (более 0.5 см).

ров льда с глубиной постепенно увеличивается до 1.5 см, и они тоже располагаются под углом  $10^\circ$  к дневной поверхности.

С 1.1 до 26.0 м в скважине залегает лед. Описание ледяного массива затруднялось тем, что при проходке скважины из-за высокого давления бурового станка лед крошился на отдельные пластины толщиной 1.0–1.5 см. Они были испещрены многочисленными трещинами, которые придавали льду белесый оттенок. Внимательное изучение керна показало, что подземный лед имеет довольно сложное строение и относится к полигенетическому типу.

На отдельных глубинах в пластинах керна хорошо просматривались тонкие горизонтальные прослойки грунта. Следовательно, лед на таких участках можно отнести к пластовому. Его мощность местами достигает 0.5 м.

В основной же массе льда были отмечены вертикальные включения грунта. Несмотря на то что ледяные пластинки разделены между собой «опилками» (при бурении появляется много мелких осколков, которые располагаются между пластинами), вертикальные грунтовые включения в отдельных случаях протягиваются на 0.5 м. Это позволяет предположить, что данная часть ледяного массива — повторно-жильного происхождения.

Горизонт 26.0–28.0 м в верхней части представляет собой сильно заторфованный темнокоричневый суглинок с так называемой тонкошлировой криогенной текстурой — рассеянный тонкими вертикальными включениями льда. На глубине 27 м было найдено несколько тонких (до 2 см в диа-

метре) стволов лиственницы, много желтой хвои, свежий мох и зеленая трава. Все эти растительные остатки находились в супесчано-суглинистом грунте с базальной криогенной текстурой. Вероятно, они были погребены селевым потоком, сошедшим осенью, когда протаивание грунтов бывает максимальным.



Пологий склон левого борта долины р.Кючюс. Сильно увлажненный грунт перемещается настолько быстро, что напоминает селевой поток.

На глубине 27.5 м заторфованный суглинок постепенно сменяется светлой супесью со шлировой криогенной текстурой. Шлиры льда здесь также расположены вертикально. В нижней части этого горизонта появляется мелкий щебень, покрытый тонкой корочкой льда.

На глубине 28.0—30.0 м залегают щебень, а вмещающая его порода — светло-серая супесь. Для этого горизонта характерна корковая криогенная текстура (обломки пород будто бы покрыты коркой льда).

Ниже, с глубины 30 м, начинаются коренные породы — алевриты.

Таким образом, вся основная часть осадков скважины (более 20 м) — это подземный лед полигенетического происхождения, причем в основной массе — повторно-жильный.



Подземный лед на склоне долины. Ледяные жилы расположены настолько близко к поверхности, что при нарушении естественного покрова водонасыщенный грунт может начать движение вниз.



Термокарстовое озеро Щучье.

**Термокарстовые озера.** Повсеместное распространение мощных подземных льдов и небольшая глубина сезонного протаивания (от 0,4 м на покрытых мхом заболоченных участках до 1,5 м в местах выхода на дневную поверхность скальных пород) благоприятствуют развитию термокарста.

На водораздельной поверхности расположено несколько крупных термокарстовых озер. Чаще всего они имеют округлую форму, их диаметр около 0,5 км, максимальная глубина — 10 м. Разведочным бурением установлено, что под озерами находятся талики, мощность которых не превышает 5—10 м. Этот факт противоречит имеющимся теоретическим представлениям. Так, при данных геокриологических условиях талики под озерами диаметром 0,5 км должны быть сквозными\* [4, 5]. Значит, можно сделать вывод, что термокарстовые озера в долине р.Кючюс образовались сравнительно недавно.

\* Сквозной талик — участок незамерзающей породы, пронизывающий толщу многолетней мерзлоты насквозь.

## Литература

1. Додин Д.А. Устойчивое развитие Арктики (проблемы и перспективы). СПб., 2005.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып.24. Якутская АССР. Кн.1. Л., 1989.
3. Мурзин Ю.А., Нерадовский Л.Г., Железняк М.Н. Температурное поле и строение криолитозоны Янского плоскогорья // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. М., 2009. С.53—56.
4. Мурзин Ю.А., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И. Влияние термокарстовых озер Нижне-Адычанской впадины на формирование стационарного температурного поля горных пород // Озера холодных регионов. Ч.1. Якутск, 2000. С.127—136.
5. Мурзин Ю.А., Босиков Н.П. Развитие термокарста Янского плоскогорья // Биологические проблемы криолитозоны. Якутск, 2012. С.127—128.

К наиболее детально исследованным относится оз.Щучье. Его диаметр 0,5 км, максимальные глубины — более 10 м. В озере сосредоточено около 2 млн м<sup>3</sup> воды. Его крутые обрывистые берега, осложненные термокарстовыми процессами, возвышаются над водой более чем на 10 м. Урез воды в озере находится на отметке 92 м, в р.Кючюс — 70 м, т.е. перепад высот между водоемами составляет 22 м. Расстояние между озером и рекой всего 700 м, из них 300 м занимает пойма, а под оставшейся наиболее возвышенной частью залегает супесчано-суглинистая толща с мощными повторно-жильными льдами и базальной криогенной текстурой. Учитывая, что озерные воды интенсивно

размывают юго-западный берег (как раз в направлении реки), в недалеком будущем 700-метровая грунтовая перемычка будет разрушена и оз.Щучье селевым потоком сойдет в долину р.Кючюс. Такие события неоднократно происходили и раньше. Примером тому служат пустые термокарстовые котловины на месте бывших озер.

Исследования в долине р.Кючюс — отдаленном и труднодоступном районе Якутии — позволили получить новые данные о местных геокриологических условиях. Теперь нам известно, что здесь из-за крайне суровых климатических условий развита сплошная толща многолетнемерзлых пород мощностью до 500 м, с температурой на подошве слоя годовых колебаний от –6,8 до –10°С. В строении толщи широко представлены повторно-жильные льды с базальной и линзовидной криогенными текстурами мощностью свыше 20 м. И наконец, высокое содержание подземного льда в горных породах пологих склонов и речных долин благоприятствует развитию термокарста. ■

# Доместикация пшениц

Н.П.Гончаров, И.Д.Сормачева

**И**стория возделываемых растений тесно переплетена с историей человечества. При переходе к современному средиземноморскому климату на значительных территориях распространились однолетние самоопыляющиеся растения с крупными зерновками (семенами). Их плоды удобны для интенсивного собирательства и длительного хранения. Однако, несмотря на то, что от собирательства полезных растений до их разведения один шаг, этот шаг растянулся на тысячелетия.

Освоение базовых навыков земледелия — событие революционное, коренным образом изменившее само существование человечества\*. Оно обусловило переход от кочевого образа жизни к оседлому и положило начало прогрессу цивилизации. Доместицируя\*\* растения, человек неизбежно одомашнивал самого себя. Для обработки земли человеку потребовались специальные орудия труда: деревянная мотыга для рыхления почвы, деревянный или костяной серп с кремневыми накладками для жатвы злаков, цеп для их обмола, ручной жернов для размолта зерна и т.д. С возникновени-



**Николай Петрович Гончаров**, доктор биологических наук, член-корреспондент РАСХН, заведующий сектором генетики пшениц Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Область научных интересов — сравнительная генетика и таксономия пшениц и их сородичей, история генетики и селекции.



**Ирина Дмитриевна Сормачева**, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических систем того же института. Область научных интересов — молекулярная филогения, мобильные генетические элементы, эволюционная биоинформатика.

ем земледелия начинает развиваться разделение труда между членами общины, а в последующем — и развитие ремесел. Для изготовления сложных орудий потребовались специализированные плотничьи инструменты, а для хранения зерна — склады. Повышение эффективности земледелия привело к увеличению собираемого урожая, что, в свою очередь, стимулировало развитие новых способов приготовления пищи и изменение характера питания. Возможно, доместикации растений предшествовали не только глобальные биосферные, но и масштабные социальные события. Но могла быть и обратная связь — рост продуктивности новых форм растений позволил существовать вокруг этих источников пищи все более и более многочисленным группам людей. Доминирующее положение в истории человечества заняли цивилизации Востока, ориентированные на возделывание хлебных злаков.

Злаки — это семейство однодольных, которое включает основные хлебные растения — пшеницу, ячмень, рожь, кукурузу и рис, а также ряд кормовых растений. При этом под «хлебом» в разных странах подразумевают разные растения. В Африке это просо, в Китае и Японии — рис, в скандинавских странах — ячмень, в Европе — рожь и пшеница. Хлеб в европейском смысле этого слова не был известен ни одной азиатской, американской или африканской цивилизации.

\* См.: Гилярова О.А., Гиляров А.М. Ранние этапы становления земледелия и скотоводства // Природа. 2013. №11. С.61—63. — *Примеч. ред.*

\*\* Доместикация (от лат. domesticus — домашний) — процесс превращения диких животных в домашних, а диких растений в культурные.

Происхождение культурных растений, как и domestикация животных, — традиционная глава эволюционной биологии. Основные вопросы в данной области это: постулирование факторов происхождения возделываемых растений, поиск исходного ареала и места domestикации. Со времен выдающегося швейцарского ботаника А. Декандоля для изучения происхождения культурных растений традиционно используются четыре основных метода: ботанический, археолого-палеонтологический, исторический и лингвистический. За полтора века истории изучения данного вопроса было накоплено значительное число фактов и наблюдений, высказано множество гипотез, проделана титаническая работа по их доказательству или опровержению. В настоящее время исследователи используют экспериментальные методы — генетические и молекулярно-биологические — и как никогда близки к разгадке тайн происхождения и domestикации основных хозяйственно важных растений. Кроме того, методы молекулярной биологии позволяют выявить реальные филогенетические взаимоотношения между видами и исключить субъективную составляющую оценки процесса их эволюции.

### Доместикация пшеницы

Происхождение современных культивируемых полиплоидных видов пшеницы — почти детективная история, не все страницы которой еще прочитаны. До вмешательства человека в природе существовало четыре вида диких пшениц двух уровней пloidности — однозернянки и полбы\*. Какой конкретный вид пшеницы был впервые введен

\* Однозернянки — виды пшеницы, у которых в каждом колоске, несмотря на наличие нескольких цветков, обычно развивается только по одной зерновке. Колос плотный, сжатый с боков, с ломкой осью. Колоски расположены на оси по одному, в два ряда, а у двуцветковых — с одним плодущим и одним обычно недоразвитым цветком. Зерновка вымолачивается с трудом. Растения диплоидные (в клетках по два набора из семи хромосом:  $2n = 2x = 14$ ). Представлены одним культурным видом и двумя дикорастущими (пшеницы беотийская и урарту). Полбы — виды пшеницы, у которых в каждом колоске развивается минимум по две зерновки. Колос ломкий (при созревании распадается на колоски), с трудно вымолачиваемым зерном. Растения тетраплоидные (в клетках по четыре набора из семи хромосом:  $2n = 4x = 28$ ). Описаны два дикорастущих вида (двузернянка и пшеница араратская) и несколько культурных (эммер, пшеница Карамышева и др.). Посевы полб незначительны. К тетраплоидным видам относится так же ряд возделываемых голозерных видов, в том числе и пшеница твердая, или макаронная. Гексаплоидные, мягкие, пшеницы (в клетках по шесть наборов из семи хромосомы:  $2n = 6x = 42$ ) встречаются только в культуре. Имеются как пленчатые с трудным обмоломом (спельга, маха, пшеница Вавилова и др.), так и голозерные (пшеницы мягкая, карликовая, округлозерная и др.).



Колосья ди-, тетра- и гексаплоидных видов пшениц: однозернянок (а — *T. sinskajae*, б — *T. monococcum*), твердой (в, г — *T. durum*) и мягкой (д, е — *T. aestivum*) пшениц.

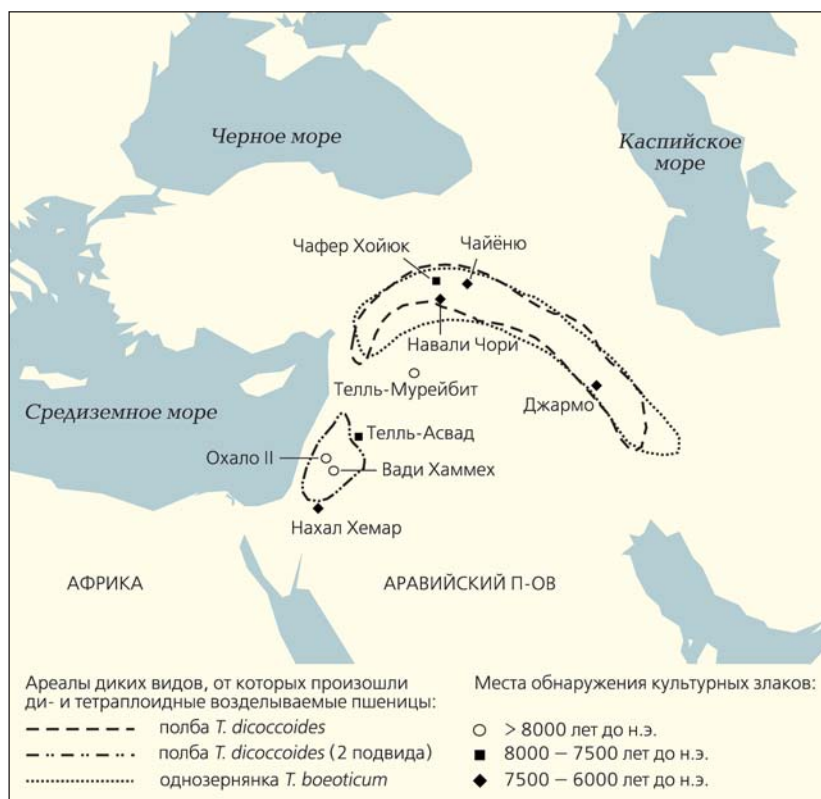
в культуру древними земледельцами? В самых ранних археологических находках одновременно встречаются уже domestцированные одно- и двузернянки и не обнаружены пшеницы с промежуточным типом строения. В Шумере в основном возделывали однозернянку *Triticum monococcum*, тогда как в Древнем Египте — тетраплоидную двузернянку *T. dicoccum*. Большинство исследователей длительное время рассматривали вопрос о происхождении каждого из видов пшениц отдельно, а не всех возделываемых видов в целом, так как имели мало информации. Дело осложнялось отсутствием репрезентативной коллекции видов пшеницы. Лишь коллекция ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова (Санкт-Петербург), не только скрупулезно собранная, но и тщательно и основательно изученная в течение последних десятилетий, дает исследователю уникальную возможность разобраться в том, какие виды рода *Triticum* были первыми введены в культуру.

Родиной диких и культурных видов пшениц традиционно считается Передняя Азия. Земледелие могло возникнуть и развиться в районах, где достаточны численность и разнообразие диких злаков с довольно крупным, пригодным в пищу зерном. Лишь ограниченная территория так называемого Плодородного полумесяца, расположенного на пространстве от Малой Азии до ирано-иракского пограничья (горы Загрос) и от Палестины до Турецкого Закавказья, оказалась пригодна для введения пшеницы в культуру [1, 2]. Со времен Н. И. Вавилова [3], сформулировавшего гипотезу центров происхождения культурных растений, исследователями рассматриваются три основные гипотезы введения в культуру возделываемых растений — полицентрическая, моноцентрическая и диффузная. Названия гипотез говорят сами за себя: согласно первой — таких центров было несколько, по второй — всего один, и из

него уже культурные растения распространились по всему свету. Из диффузной (политопной) гипотезы следует, что никаких центров не было вовсе. В последнее время возросло число археологических и палеоботанических свидетельств, позволивших четче выявить картину происхождения земледелия. Они все более и более подкрепляют гипотезу полицентрического происхождения. Однако до сих пор так и не накоплено достаточно данных для полного подтверждения ни одной из них: история народов и ландшафтов до того разнообразна, что все три могут быть отчасти верными [4].

По археологическим источникам введение в культуру злаковых растений, в первую очередь ячменя и пшеницы, началось в позднем неолите, около 10–12 тыс. лет назад, и, согласно современным оценкам, завершилось около 4000 лет назад [2, 5]. Пшеница, в силу ряда своих особенностей, со временем стала основной возделываемой культурой и распространилась на все континенты кроме Антарктиды. Доместичировано было по одному или по несколько видов пшеницы трех уровней пloidности, которые нужны для различных целей. Из мягкой пшеницы ( $2n = 6x = 42$ ) пекут хлеб; из твердой ( $2n = 4x = 28$ ) делают макароны; полбу ( $2n = 4x = 28$ ) и однозернянку ( $2n = 2x = 14$ ) используют как крупяные культуры. Преобладание мягкой пшеницы *T.aestivum* над остальными видами объясняется ее экологической пластичностью — устойчивостью к низким и высоким температурам, к избытку и недостатку влаги, а также к различным заболеваниям и вредителям. В настоящее время мягкая пшеница — одна из основных продовольственных культур примерно для трети населения планеты.

Отдельные задачи при изучении истории доместикации — реконструкции основных путей и направлений отбора в процессе происхождения пшениц. Эти продовольственные культуры представляют собой уникальный результат деятельности человека, потребовавший нескольких тысячелетий. Полиплоидные пшеницы произошли в результате естественной гибридизации, в процессе которой геномы нескольких малоприспособленных для культивирования дикорастущих растений объединились в геноме первого из возделываемых видов. Последующий отбор, проведенный среди полиплоидов, позволил получить гекса- и тетраплоид-



Зона «Плодородного полумесяца» (по [1]). Границы территории происхождения диких тетраплоидных видов и доместикации пшеницы.

ные пшеницы, обладающие набором хозяйственно важных признаков и высокой продуктивностью.

Развитие методов исследования позволило установить филогенетические взаимоотношения различных видов пшениц на основе анализа различий их нуклеотидных последовательностей и оценить время дивергенции таксонов. Удалось выявить направления доместикации, филогенетические взаимоотношения внутри рода *Triticum* и закономерности эволюции признаков, связанных с доместикацией. При этом ключевой этап реконструкции происхождения пшениц — определение признаков, по которым человек проводил первоначальный отбор.

### Признаки «доместикации»

Культурные виды пшеницы отличаются от дикорастущих по ряду хозяйственно-важных признаков. Из них для человека наиболее значимы: ломкость и форма колоса, пленчатость—голозерность, яркость—озимость, округлозерность, твердозерность и чувствительность к фотопериоду.

Хронологически первым среди перечисленных признаков у культурных видов пшеницы был закреплен признак «отсутствие ломкоколосости». Ломкость колоса — адаптивный признак диких





Ломкоколосый (а) и неломкоколосый (б) колосья, пленчатый (в) и голозерный (z) образцы пшениц; а, в — *T. dicoccoides*; б, z — *T. durum*.

видов, он способствует эффективному распространению их семян. В отличие от диких, колос культивируемых видов пшениц прочный, не распадающийся на членики при созревании. Растения с таким колосом обладают преимуществом по сравнению с ломкоколосыми, так как их урожай может быть собран без потерь [5].

Голозерность представляет собой утрату плотно облегающих колосковых чешуй — защитного приспособления семян пшениц. Пленчатость позволяет семенам диких видов пшениц лучше сохраняться в течение неблагоприятного периода. Семена голозерных видов пшениц характеризуются относительно коротким периодом покоя и быстрее прорастают по сравнению с семенами пленчатых видов. Кроме того, зерновки без жестких защитных чешуй предпочтительны для приговления высококачественной муки [6].

Другая важная характеристика культивируемых растений — яровость, т.е. отсутствие потребности в стимуляции цветения длительным воздействием низких температур. Переход от вегетативного роста к репродуктивному развитию — это критический момент в онтогенезе диких и культивируемых видов пшеницы, который влияет на время цветения и на эффективность развития

и распространения семян. Яровые растения проходят весь цикл развития в течение одного лета, в то время как озимые до осени не переходят к генеративному развитию без предварительного воздействия низкой температуры (один из вариантов адаптации пшениц к изменениям условий среды). Яровость, по-видимому, возникла еще в дикой природе. В культуре она позволила земледельцам кардинально сократить время получения урожая до одного сезона. Голозерность, отсутствие ломкоколосости и яровость сыграли ключевую роль в процессе доместикации и обеспечили успешное культивирование пшеницы [7].

### Гены, контролирующие признаки, связанные с доместикацией

В последние несколько десятилетий исследователи во всем мире прилагают значительные усилия для изучения генов, которые контролируют развитие признаков пшениц, связанных с процессом доместикации. Показано, что ключевую роль в формировании таких признаков играют регуляторные гены\*. Они могут контролировать экспрессию\*\* десятка и более генов, поэтому одна-единственная мутация в последовательности гена, кодирующего транскрипционный фактор, может приводить к значительным изменениям фенотипа. На данный момент у пшениц детально изучены два гена (*VRN-1* и *Q*), которые сыграли ключевую роль в развитии признаков, отличающих доместичированные виды пшениц от их диких прародителей. *VRN-1* и *Q* относятся к семействам генов, кодирующих транскрипционные факторы, что подтверждает точку зрения, согласно которой новые морфологические изменения у культурных растений возникают за счет изменений регуляторных или кодирующих районов генов данного класса.

**Ген *VRN-1*.** Гены системы *VRN* (*VRN-1*, *VRN-2*, *VRN-3*) контролируют развитие признаков яровости—озимости у пшеницы [8]. Центральный ген в системе регуляции времени цветения — *VRN-1*. Он относится к семейству *MADS-box*-содержащих генов, кодирующих транскрипционные факторы, и является гомологом гена *AP-1* арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana*) [9]. Гены данного семейства — органоспецифичные, они играют важную роль в индивидуальном развитии (онтогенезе) растений в целом. Нарушение функции некото-

\* Регуляторный ген (ген-регулятор) — ген, продуктом которого является белок, регулирующий экспрессию других генов. Транскрипция — синтез молекул РНК на соответствующих участках молекул ДНК.

\*\* Экспрессия гена включает в себя три этапа: транскрипцию гена, последующую трансляцию мРНК и степень выраженности проявления признака, контролируемого данным геном. Может меняться в зависимости от генотипа и от условий внешней среды.

рых из них может приводить к гомеозисным\* трансформациям в генеративной сфере растений. Доминантная аллель гена *VRN-1* (*Vrn-1*) определяет развитие пшениц по яровому типу, в то время как рецессивная аллель (*vrn-1*) — по озимому типу [9]. Различие между доминантной и рецессивной аллелями связано с нарушениями в промоторном районе\*\* и/или в области первого интрона\*\*\* данного гена. У диплоидных видов пшеницы (геном  $A^bA^b$ ) различие между доминантной и рецессивной аллелями определяется делецией\*\*\*\* в промоторном районе гена вблизи сайта\*\*\*\*\* CArG-box. В случае тетраплоидных (геном  $BBA^uA^u$ ) и гексаплоидных (геном  $BBA^uA^uDD$ ) видов пшениц различие между аллелями гена *VRN-1* в А геномах определяется делециями и/или вставками мобильных генетических элементов в промоторном районе или делециями в первом интроне данного гена. Доминантные аллели гена *VRN-1* в В и D геномах отличаются от рецессивных исключительно наличием делеции в первом интроне. Промоторный район и первый интрон гена *VRN-1* содержат различные сайты связывания с другими регуляторными белками, что позволяет осуществлять тонкую регуляцию экспрессии гена *VRN-1* и формирование признака яровость—озимость [9].

Большинство диких видов пшениц — озимые. Большинство же культивируемых видов, напротив, преимущественно пред-

\* Гомеозис — изменение развития эмбриона, в результате которого орган или сегмент тела (придаточный гомеозис) или новый орган на месте другого (замещающий гомеозис), принимает форму или приобретает признаки, свойственные другим членам меристемных структур (орган становится сходным с гомологичным органом или сегментом тела филогенетически родственных групп организмов). Гомеозисные превращения не создают ничего нового в онтогенезе, но изменяют характер регионального развития эмбриона. Например, у насекомых происходит формирование ног вместо усиков у дрозофил.

\*\* Промотор — участок гена, регулирующий транскрипцию.

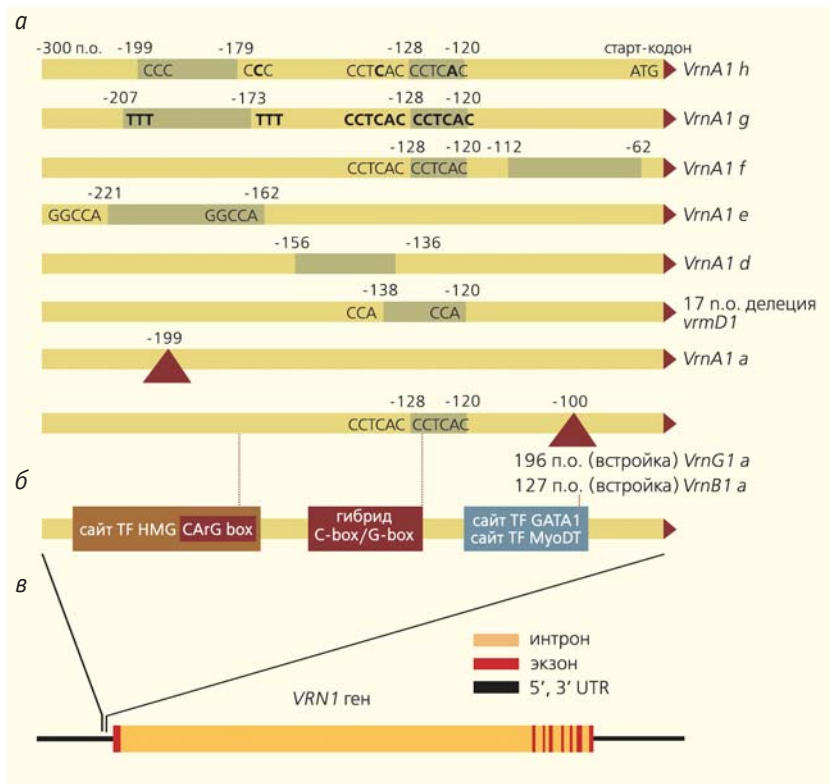
\*\*\* Интрон — участок пре-мРНК, удаляемый в процессе ее сплайсинга (созревания).

\*\*\*\* Делеции — потеря нуклеотидных последовательностей или отдельных нуклеотидов в результате мутационных процессов или рекомбинации.

\*\*\*\*\* Сайт — участок молекулы ДНК, белка и т.п.



Яровые (желтые на заднем плане) и озимое (зеленое на переднем плане) растения мягкой пшеницы.



Различные варианты аллелей промотора гена *VRN-1* (а), предсказанные регуляторные сайты связывания регуляторных белков (б) и структура гена *VRN-1* (в) [11]. Места делеций или встроок обозначены в парах нуклеотидов выше от старт-кодона (триплета АТГ, распознаваемого рибосомой как стартовый кодон трансляции) трансляции. Прямоугольниками указаны делеции, треугольниками — вставки транспозонов (мобильных элементов). Один из прямых повторов, ограничивающих делеции и оставшийся в последовательности после рекомбинации, показан вне прямоугольников.

ставлено яровыми формами. Исключение составляет гексаплоидный вид *T.aestivum*, у которого только около половины форм (образцов и сортов) яровые. Это позволяет считать, что исходно пшеницы были рецессивными гомозиготами по гену *VRN-1*. Доминантная аллель гена *VRN-1* могла быть унаследована гексаплоидами от предковых видов или стать результатом накопления отдельных мутаций в процессе адаптации к различным условиям возделывания после доместикации.

Мы выявили значительную вариабельность промоторных районов гена *VRN-1* диких и культивируемых видов пшениц и представителей близкородственного рода *Aegilops*. При анализе пшениц с разным уровнем плоидности и изученным ранее характером наследования типа развития [10] у 51 образца были обнаружены мутации в регуляторных районах гена *VRN-1*, приводящих к развитию по яровому типу [11].

Обнаружено, что вариабельность промоторного района гена *VRN-1* у полиплоидных видов пшениц значительно выше, чем у диплоидных. У возделываемых диплоидных видов нарушения промоторного района, приводящие к яровости, были унаследованы культивируемыми формами от диких [11]. У яровых форм полиплоидных видов процессы изменения последовательности гена *VRN-1* (делетирования фрагментов и встройки новых участков), по-видимому, произошли независимо и не были унаследованы от яровых форм диплоидных видов пшениц. В промоторе гена *VRN-1* из А, В и G геномов яровых образцов тетраплоидных ви-

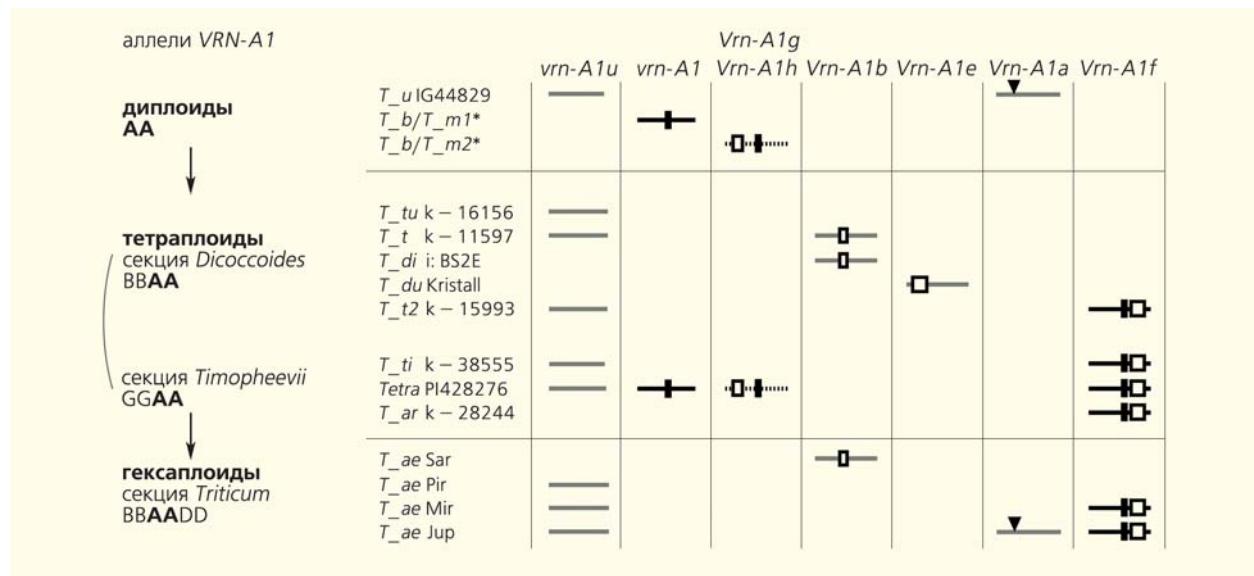
дов были обнаружены специфические вставки мобильного генетического элемента\*. Такие изменения, найденные в промоторе *VRN-1* у культивируемых полиплоидных видов, по-видимому, не были унаследованы от диких тетраплоидов и произошли у них независимо уже в процессе их возделывания человеком. Детальный анализ переменных областей промоторного района гена *VRN-1* показал наличие сайтов связывания транскрипционных факторов в данных областях и подтвердил предположение, что контролирование признака яровость—озимость осуществляется на уровне регуляции экспрессии мастер-гена\*\* *VRN-1*. Мы выявили и описали новые аллельные варианты генов *VRN-1* [11]. Все это позволяет сделать заключение о независимом происхождении яровости у доместичированных пшениц от яровых форм их диких предков.

**Ген Q.** *Q*, как и *VRN-1*, — один из основных генов, вовлеченных в процесс доместикации, он плейотропно\*\*\* контролирует такие признаки, как ломкость—неломкость колоса, голозерность—пленчатость, форма колоса (норма — спельтоид-

\* Мобильные генетические элементы — последовательности ДНК, факультативные элементы генома, которые могут перемещаться внутри генома; важный механизм изменчивости и обмена генетическим материалом между организмами одного и разных видов.

\*\* Мастер-ген — ключевой ген, контролирующий каскад генов, обуславливающий проявление определенного признака.

\*\*\* Плейотропия — это действие одного гена на несколько фенотипических признаков.



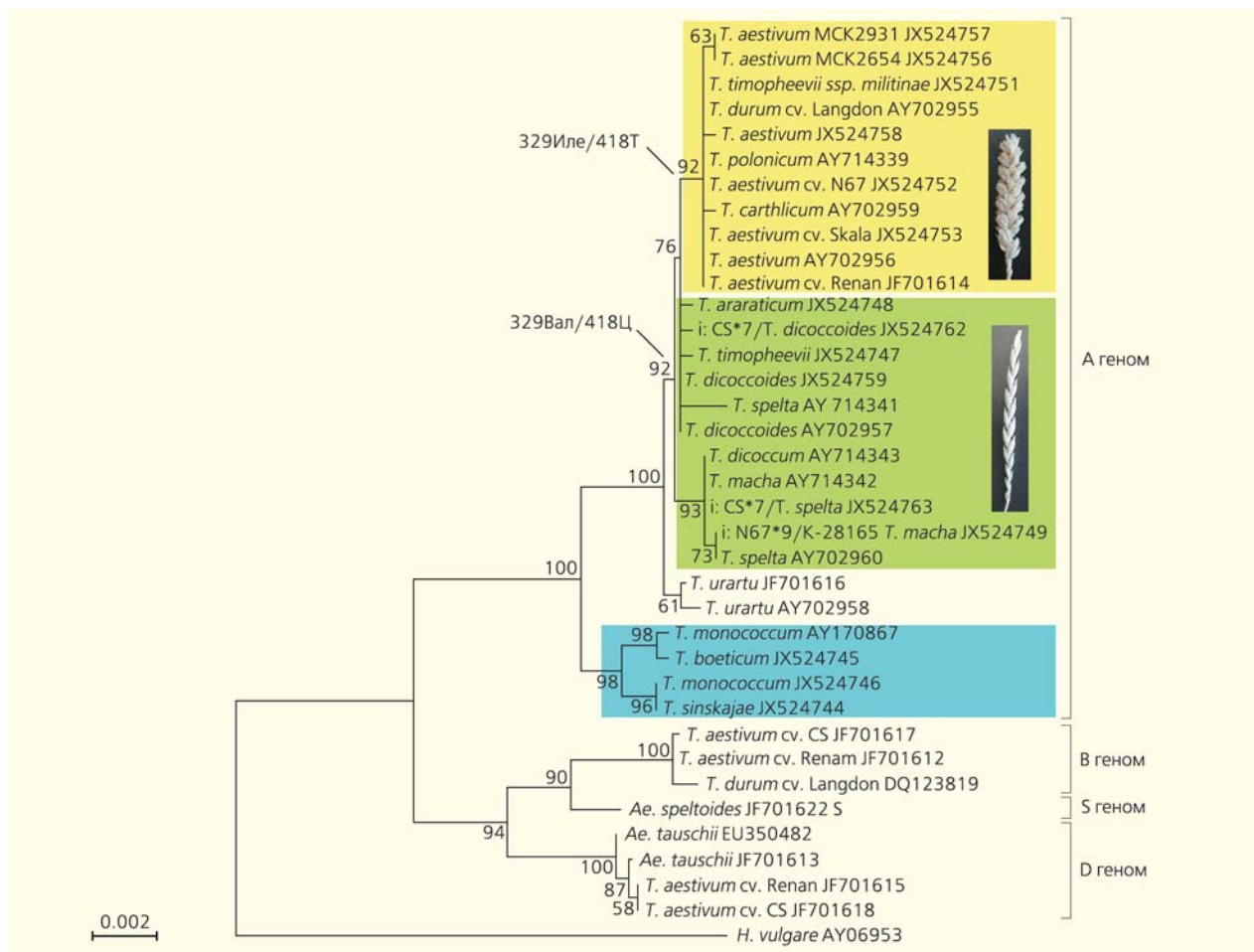
Вариабельность *VRN-1* промоторов А генома у пшениц различного уровня плоидности, их происхождение и наследование (по [11]). Прямоугольниками указаны делеции (маленький прямоугольник равен 8 пар оснований, большой — представляет делеции более 10 пар оснований), треугольниками — вставки мобильных генетических элементов. Виды пшеницы: *T\_m* — *T.monococcum*, *T\_u* — *T.urartu*, *T\_b* — *T.boeoticum*, *T\_tu* — *T.turgidum*, *T\_di* — *T.dicoccum*, *T\_du* — *T.durum*, *T\_t* — *T.turanicum*, *T\_ti* — *T.timopheevii*, *T\_ar* — *T.araraticum*; Sar — замещенная линия Саратовская/Вьетнамская 5R(5A), сорта мягкой пшеницы: Pir — Пиротрикс 28, Mir — Мироновская яровая, Jup — Jupateko.

ность\*), форма и жесткость чешуи, длина оси колосового стержня, высота растения и некоторые другие хозяйственно важные признаки пшениц [12].

Ген *Q* локализован на хромосоме 5A и относится к семейству AP-2 транскрипционных факторов, специфичных для растений. Данное семейство мастер-генов регулирует ряд процессов в развитии растений, и прежде всего связанных с формированием соцветия и регуляцией цветения. Пленчатость—голозерность и ломкость—неломкость колоса — одни из основных признаков, отбор по которым привел к становлению современного фенотипа голозерных возделываемых видов пшениц

\* Спельтоидность — веретеновидная, сужающаяся кверху форма колоса.

с неломким колосом. Диплоидные виды пшениц считаются более древними представителями рода, нежели полиплоидные, они имеют пленчатый колос. Единственный голозерный представитель диплоидных пшениц (*T. sinskajae*) был обнаружен в коллекционном образце культурной однозернянки *T. monococcum* только в 1970-х годах. Сравнительный анализ последовательностей гена *Q* у представителей рода с генотипами *qq* (голозерный, неломкоколосый) и *QQ* (пленчатый, ломкоколосый) позволил выявить точечную мутацию в белок-кодирующей области, которая, по-видимому, привела к появлению голозерности и формированию неломкого колоса. Доминантная же аллель *Q* дает дикий фенотип. Аминокислотная замена валина на изолейцин в 329-й позиции белка



Филогенетическое дерево, реконструированное на основе нуклеотидных последовательностей гена *Q* различных образцов ди-, тетра- и гексаплоидных пшениц, построенное методом ближайших соседей (ML) в программе PhyML. Номера, указанные после видовых названий, обозначают последовательности, доступные в базе данных ГенБанк (GenBank). В узлах ветвей указаны коэффициенты статистической поддержки топологии филогенетического дерева, линейка внизу слева отражает расстояние между последовательностями, представленными в узлах ветвей. А, В, S и D — различные геномы пшениц. Цветными прямоугольниками показаны разные группы пшениц по признаку ломкости колоса и спельтоидности: в желтом прямоугольнике представлены виды с неломким колосом нормальной формы, в зеленом — виды с ломким колосом спельтоидной формы, в синем — диплоидные виды, характеризующиеся ломким колосом. Справа сверху вниз: колосья *T. aestivum* (норма) и *T. spelta* (спельтоидный фенотип).

*q* влияет на процесс образования активной формы данного белка-гомомера (т.е. состоящего из двух идентичных полипептидных цепей) [12].

Аллели *Q* и *q* различаются не только уникальной аминокислотной заменой в кодирующей области гена *Q*, но и по уровню его экспрессии: этот показатель у рецессивной аллели (*q*) значительно выше, чем у доминантной (дикой) аллели (*Q*). Такого различия достаточно для объяснения различий в фенотипах, определяемых данными аллелями [13]. Однако механизм повышения экспрессии рецессивной аллели *q* по сравнению с доминантной аллелью *Q* пока неясен. В случае тетраплоидных пшениц вклад в развитие признаков, определяемых геном *Q*, вносят также аллели *q-5A* (*Q-5A*) и *q-5B* (*Q-5B*), расположенные на хромосомах 5A и 5B соответственно. У гексаплоидных пшениц дополнительное влияние вносит аллель *q-5D* (*Q-5D*). Показано, что во всех случаях ген *Q-5A* дает основной вклад в формирование таких признаков, как плечатость и ломкоколосость, в то время как гены *q-5D* и *q-5B* участвуют в подавлении признака спельтоидности [13]. При этом *q-5B* представляет собой неактивный ген (псевдоген), но участвует в регуляции экспрессии генов *Q-5A* и *q-5D* на уровне транскрипции [13]. Несмотря на интенсивные исследования гена *Q*, вопросы, связанные с вариабельностью последовательности

данного гена и ее влиянием на экспрессию и формируемый фенотип пшеницы, по-прежнему остаются открытыми.

Мы провели молекулярный и генетический анализ гена *Q* у 30 диких и культурных форм видов пшеницы с разной морфологией колоса. Дикie образцы характеризовались плечатым, ломким и спельтоидным колосом, а культивируемые — голозерным, неломким и нормальным или компактным колосом. Анализ 17 установленных нами нуклеотидных последовательностей гена *Q* подтвердил взаимосвязь между появлением замены аминокислоты валин на изолейцин в позиции 329 и формированием признаков плечатость—голозерность, ломкоколосость—неломкоколосость. Сравнение последовательностей выявило консервативную замену в сайте связывания регуляторной микроРНК (*microRNA172*) в десятом экзоне гена *Q*, что может быть одним из возможных механизмов регуляции данного гена. Все последовательности исследованных видов, имеющих дикий фенотип, содержали нуклеотид Ц в позиции 418-го сайта связывания микроРНК и аминокислоту валин в позиции 329. При этом последовательности гена *Q* возделываемых пшениц содержали нуклеотид Т и аминокислоту изолейцин в соответствующих позициях. Филогенетический анализ полученных последовательностей показал четкое разделение видов на

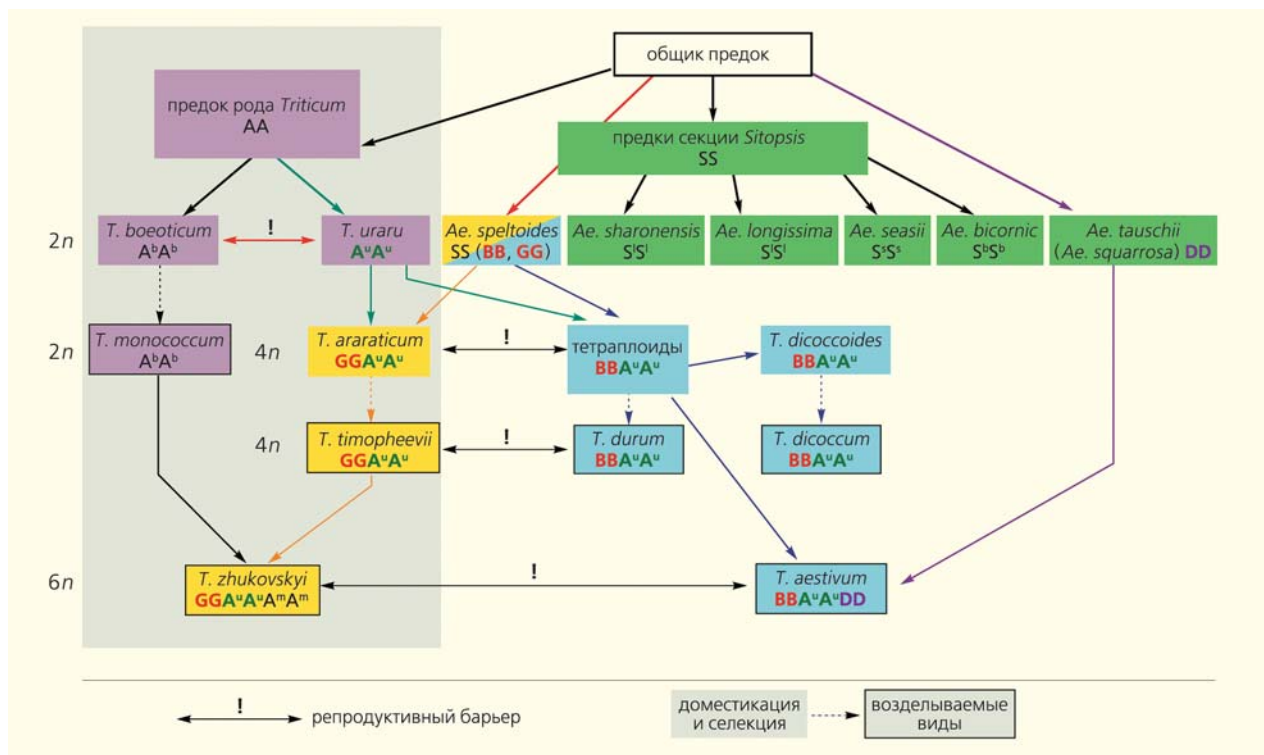


Схема филогении пшениц родов *Triticum* и *Aegilops*, основанная на анализе нуклеотидных последовательностей ряда генов (по [14]). А, В, D, G — типы геномов пшениц, верхними индексами показаны варианты геномов; 2*n* — диплоиды, 4*n* — тетраплоиды, 6*n* — гексаплоиды. В рамках показаны возделываемые виды. Все тетра- (2*n* = 4*x* = 28) и гексаплоидные (2*n* = 6*x* = 42) виды — аллополиплоиды.

7 групп. Видно, что последовательности гена *Q-5A* полиплоидных видов пшеницы разделились на две группы согласно распределению консервативных замен в позициях 329 (329Вал/Иле) и 418 (418Ц/Т в сайте связывания микроРНК). Виды, характеризующиеся пленчатым, ломким и спельтоидным колосом, сформировали первую группу 329Вал/418Ц, а виды с голозерным неломким и нормальным колосом — вторую группу 329Иле/418Т. Топология филогенетического дерева свидетельствует о том, что замены 329Вал на 329Иле и 418Ц на 418Т имеют монофилетическое происхождение. По-видимому, данные мутации (приведшие у пшеницы к формированию голозерного фенотипа с неломким, нормальной формы колосом) произошли на уровне тетраплоидов и в последующем были унаследованы возделываемыми гексаплоидами.

\* \* \*

Результаты наших исследований позволили детализировать схему происхождения пшениц. Анализ нуклеотидных последовательностей ряда генов изученных нами видов пшениц позволил подтвердить у них наличие двух вариантов генома А, соответствующих геномам двух диких видов одозернянок: А<sup>u</sup> (донор генома *T.urartu*) и А<sup>b</sup> (донор — *T.boeoticum*). Оба варианта появились в природе до начала культивирования человеком диплоидных пшениц и ранее происхождения по-

липлоидных видов. Однако схема происхождения полиплоидных видов пшениц имеет ряд темных мест: неизвестен тетраплоидный вид пшениц, послуживший материнской формой для первичного аллогексаплоида\*, отсутствует ясность со временем происхождения диких и доместикиции возделываемых видов тетра- и гексаплоидных пшениц. В то же время трудно представить, что эволюция культурных видов пшениц происходила исключительно посредством увеличения наборов хромосом, т.е. полиплоидизации. Для реконструкции процессов, лежащих в основе происхождения пшениц, требуется объединение данных филогенетического анализа и результатов исследований признаков, вовлеченных в доместикицию, методами сравнительной генетики и молекулярной биологии. Создание эффективного подхода к изучению доместикиции пшеницы должно идти от построения молекулярной филогении к реконструкции процессов доместикиции, а не наоборот. Такой подход будет адекватным и позволит выйти за рамки системы взглядов (сложившихся более ста лет назад) на реконструкцию процессов эволюции возделываемых растений. ■

\* Аллогексаплоиды — полиплоидные организмы, произошедшие в результате объединения в одном геноме разных геномов, в отличие от автополиплоида, произошедшего в результате удвоения одного и того же генома.

**Работа частично финансировалась по Программе Президиума РАН №30.30 подпрограммы II «Живая природа» и проекту РФФИ 12-04-01099.**

## Литература

1. Nesbitt M., Samuel D. From staple crop to extinction? The archaeology and history of the hulled wheats // Hulled wheats. Proceed. 1-st Intern. Workshop on Hulled Wheats (21–22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy) / Eds.: S.Padulosi et al. IPGRI, 1996. P.41–100.
2. Lev-Yadun S., Gopher A., Abbo S. The cradle of agriculture // Science. 2000. V.288. P.1602–1603.
3. Вавилов Н.И. Центры происхождения культурных растений // Труды по прикладной ботанике и селекции. 1926. Т.16. №2. С.1–248.
4. Гончаров Н.П. Центры происхождения культурных растений // Информ. вестник ВОГИС. 2007. Т.11. №3/4. С.561–574.
5. Doebley J.F., Gaut B.S., Smith B.D. The molecular genetics of crop domestication // Cell. 2006. V.127. P.1309–1321.
6. Charmet G. Wheat domestication: lessons for the future // C. R. Biol. 2011. V.334. P.212–220.
7. Dubcovsky J., Dvorak J. Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication // Science. 2007. V.316. P.1862–1866.
8. Trevaskis B., Hemming M.N., Dennis E.S. et al. The molecular basis of vernalization-induced flowering in cereals // Trends Plant Sci. 2007. V.12. P.352–357.
9. Dubcovsky J., Loukoianov A., Fu D. et al. Effect of photoperiod on the regulation of wheat vernalization genes *VRN1* and *VRN2* // Plant Mol. Biol. 2006. V.60. P.469–480.
10. Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. Новосибирск, 2012.
11. Golovnina K.A., Kondratenko E.Y., Blinov A.G., Goncharov N.P. Molecular characterization of vernalization loci *VRN1* in wild and cultivated wheats // BMC Plant Biol. 2010. V.10. P.168.
12. Simons K.J., Fellers J.P., Trick H.N. et al. Molecular characterization of the major wheat domestication gene *Q* // Genetics. 2006. V.172. P.547–555.
13. Zhang Z., Belcram H., Gornicki P. et al. Duplication and partitioning in evolution and function of homoeologous *Q* loci governing domestication characters in polyploid wheat // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2011. V.108. P.18737–18742.
14. Goncharov N.P. Genus *Triticum* L. taxonomy: the present and the future // Plant Syst. Evol. 2011. V.295. P.1–11.

# *Пионовая тайга*

О.В.Смирнова, А.А.Алейников, Н.С.Смирнов, Д.Л.Луговая



**Т**аежные леса в настоящее время привлекают пристальное внимание разных специалистов. Мы знаем, что эти леса, расположенные на огромных малодоступных территориях Северного полушария, — ценный экономический ресурс. И в то же время роль их как лесных экосистем на глобальном уровне становится все серьезнее. Связано это со стремительным истреблением тропических и субтропических лесов. Все в большей степени именно северные леса отвечают за биотическую оптимизацию климата и гидрологического режима, за регулирование биогеохимических циклов элементов, поддержание биологического разнообразия и др. [1—3].

Поэтому как никогда прежде необходимо понимать и оценивать экосистемные функции бореальных (северных) таежных лесов, биологическое разнообразие, исследовать историю их развития. Этим вопросам и посвящена наша статья.

### Зеленомошная тайга

В результате долгого антропогенного воздействия — рубок, лесного выпаса, пожаров — на огромных пространствах лесов сформировались малопродуктивные растительные сообщества с небогатым составом. В наше время именно такие леса считаются природными. А.И.Толмачев, например, пишет: «Естественность таежной зоны очевидна для каждого. Во внутропических широтах Северного полушария тайга является самым распространенным типом растительности» [4, с.8]. «Типичной темнохвойной тайге свойствен не только ограниченный набор деревьев-лесообразователей, но и общая бедность состава флоры». Толмачев говорит и о скудости растительного покрова: «...растения, живущие под поло-



**Ольга Всеволодовна Смирнова**, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией структурно-функциональной организации и устойчивости лесных экосистем Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. Область научных интересов — популяционная экология, палеоэкология, теория сукцессии и климакса, история природопользования, рациональное природопользование.



**Алексей Александрович Алейников**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — структурно-функциональная организация бореальных лесов, история природопользования Урала, средообразующая деятельность ключевых видов растений и животных, устойчивое лесопользование.



**Дарья Леонидовна Луговая**, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — природные и антропогенные факторы формирования растительного покрова, потенциальная растительность.



**Николай Сергеевич Смирнов**, младший научный сотрудник отдела мониторинга парниковых газов в природных и антропогенно-нарушенных экосистемах Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. Область научных интересов — структура, динамика и взаимосвязь со средой бореальных лесов на разных этапах сукцессии, мониторинг парниковых газов от наземных экосистем.

гом темнохвойного леса, образуют в своей совокупности лишь ничтожную массу...» [4, с.11].

Типичная темнохвойная тайга распространена на Русской равнине, на Урале и в Западной Сибири. Такая тайга представляет собой зеленомошно-кустарничковые и зеленомошно-мелкотравные леса — еловые или пихтово-еловые с примесью кедра сибирского (*Pinus sibirica*). Древесный полог обычно образован деревьями одного поколения, подрост малочислен и слаб, видовой состав трав и кустарничков беден, эколого-ценотическое разнообразие (коли-





Общий вид зеленомошного ельника. Национальный парк «Паанаярви». Северная Карелия.

Здесь и далее фото М.В.Бобровского

чество видов, объединенных отношением к факторам среды и типом растительного сообщества) их минимально.

Моховой же покров развит очень сильно. Это зеленые бореальные мхи, отсюда и название лесов — зеленомошные. Мхи образуют мощный слой медленно разлагающейся лесной подстилки, бедной минеральным питанием. Она очень быстро намокает и высыхает. Такой переменный режим увлажнения неблагоприятен для подроста деревьев, многих трав и кустарничков. Кроме того, сухой моховой покров способствует широкому распространению пожаров. Таким образом, условия для смены поколений здесь очень непростые.

Взрослые деревья невелики, корневая система развита слабо, большинство из них поражено грибными болезнями. Старые деревья, погибая, просто обламываются у основания. При этом не происходит выворачивания кома земли и образования бугров и западин, как бывает в других лесах. Постепенно валежины (упавшие мертвые деревья), погружившиеся в моховой ковер, и сами покрываются зелеными мхами. На их ковре поселяются кустарнички: брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), черника (*V.myrtillus*) и мелкие травы — кислица (*Oxalis acetosella*), седмичник (*Trientalis europaea*), майник (*Maianthemum bifolium*) [5, 6]. Необходимую влагу эти растения получают из разлагающихся валежин, которые, в отличие от мохового ковра, длительно ее сохраняют.

Из деревьев же на валежинах обычно возобновляется только ель — обыкновенная (*Picea*



Возобновление ели по валежу. Национальный парк «Паанаярви». Северная Карелия.



Подзол иллювиально-железистый в чернично-зеленомошном лесу.

Фото А.Д.Бовкунова



Уголь из почвенных разрезов пихто-ельников зеленомошных. Печоро-Илычский заповедник.

Фото М.В.Бобровского

*abies*) и сибирская (*P.obovata*). Лиственные деревья не приживаются ни на валеже, ни в моховом покрове. При такой однородности древесного состава (с господством ели) лесное сообщество часто поражено грибными инфекциями.

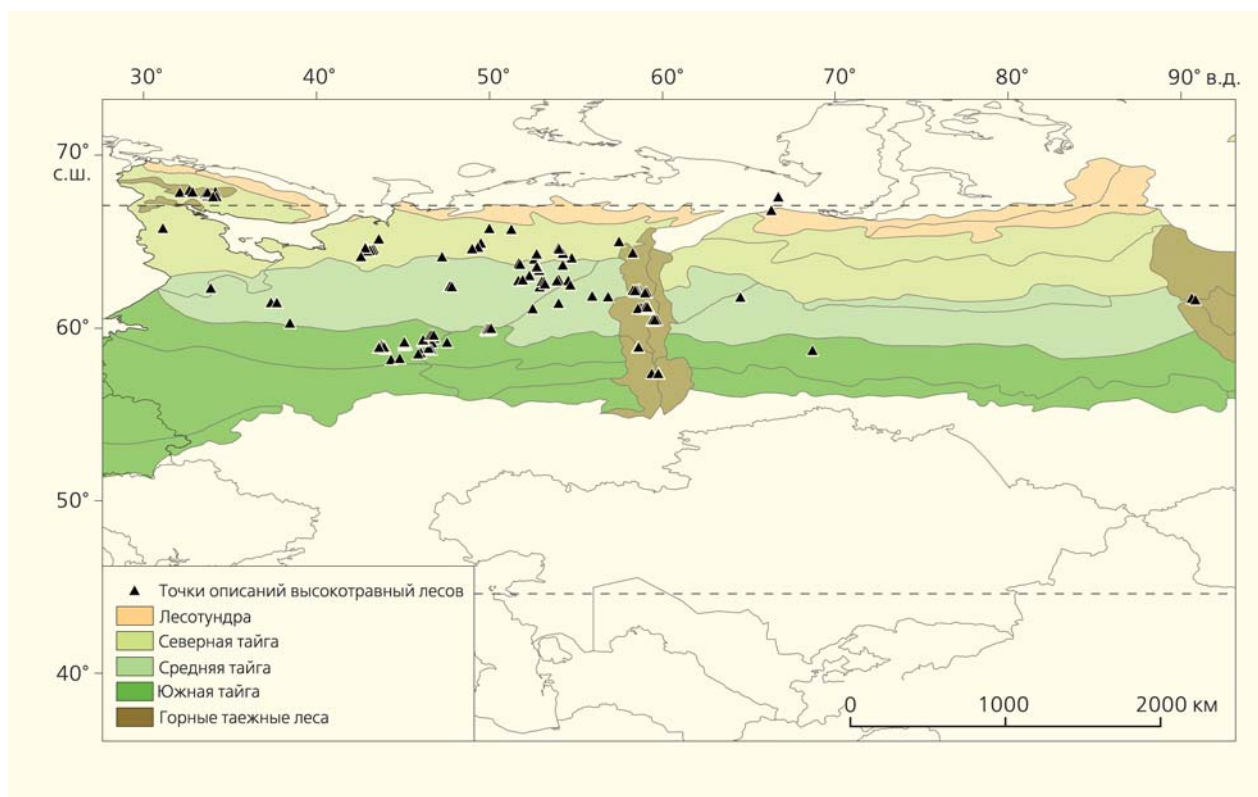
Зеленомошные леса сформировались под воздействием человека — в результате сплошных или выборочных рубок и пожаров. Их приметы — разрушающиеся пни и подпалы на старых соснах, в том числе и на кедрах. О былых пожарах свидетельствует и состав почвы. Здесь господствуют подзолы — иллювиально-железистые и иллювиально-гумусово-железистые (иллювий, от лат. *illuvies*, — разлив, намывная грязь) и подзолистые почвы. Гумусовый горизонт очень мал, а то и вовсе отсутствует. В почве постоянно содержится уголь. Мы встречали его в большинстве мест в виде слоя между подстилкой и минеральным горизонтом. Слой угля иногда достигает нескольких сантиметров, что говорит о неоднократных пожарах — верховых и низовых [7]. Антропогенный характер большинства пожаров в таежных лесах подтверждается множеством наблюдений и документирован в материалах заповедников [3, 8].

### Высокотравные таежные леса

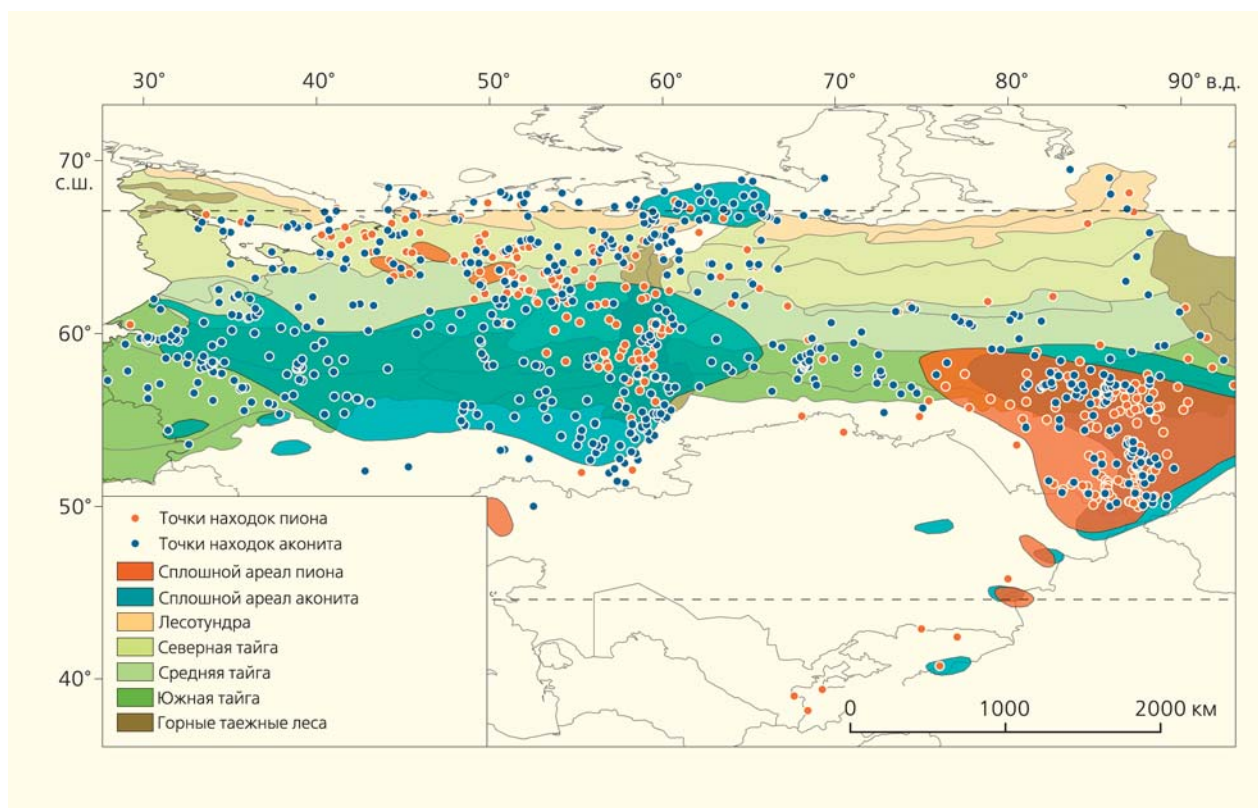
Тайга не ограничивается только темнохвойными зеленомошными лесами. В этом убеждают научная работа в заповедниках, изучение архивов и картографических материалов [7–10]. Многолетние исследования выявили значительное разнообразие типов таежных лесов [11]. Особо выделен уникальный тип — высокотравные таежные леса [12]. Хотя изучать их детально стали относительно недавно (около 15 лет назад), леса эти уже описаны на территориях от Северной Карелии до Урала и в некоторых районах Западной Сибири — от северной до южной тайги. Удивительный участок высокотравных таежных лесов мы обнаружили также за пределами лесного пояса в кустарниковых тундрах, в Горно-Хадатинском государственном заказнике Ямало-Ненецкого автономного округа. На западе и в центре Русской равнины эти леса представлены ельниками высокотравными, а на востоке (а также на Урале и в Западной Сибири) — высокотравными пихто-ельниками с кедром.

Высокотравные леса располагаются на участках с самыми разнообразными элементами рельефа и на подстилающих породах различных типов [6, 12]. Описаны в основном те леса, что приурочены к востоку Русской равнины и к Уралу: вероятно, потому, что общая сохранность лесов здесь лучше, чем на других территориях.

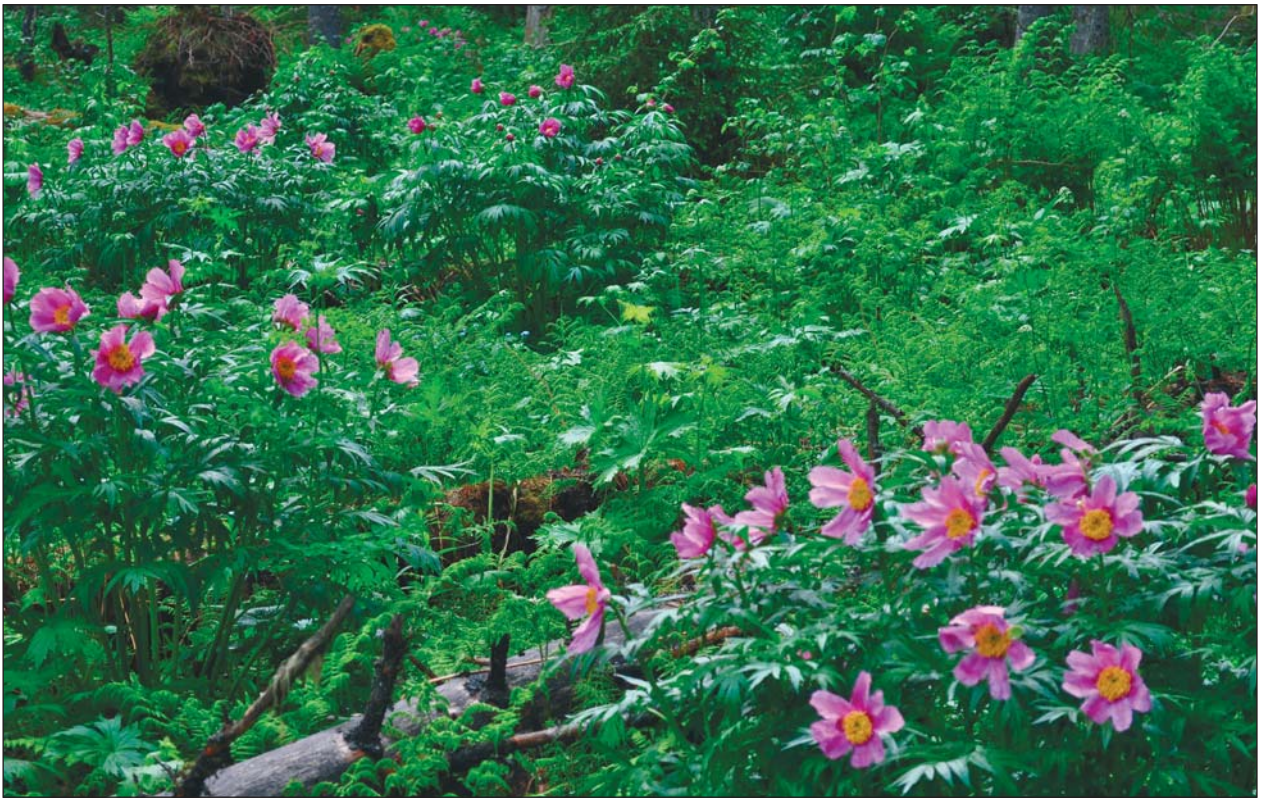
Эти леса из разновозрастных деревьев значительно отличаются от зеленомошной тайги по большинству признаков. Здесь в напочвенном покрове господствуют цветковые растения, а доля



Точечный ареал высокотравных темнохвойных лесов.



Ареалы пиона и аконита.



Высокотравный темнохвойный лес в фазу цветения пионов. Печоро-Илычский заповедник.

Фото А.А.Алейникова

зеленых мхов минимальна, и произрастают они только на валежинах. Преобладает ель, или совместно господствуют ель и пихта. Встречаются береза, осина, другие мелколиственные деревья и кедр. Скопления деревьев чередуются с большими полянами, где растут высокие красиво цветущие травы. Одно из самых красивых и широко распространенных растений бореального высокотравья — пион уклоняющийся, или марьин корень (*Paeonia anomala*). Это растение мы выбрали в качестве маркера высокотравных лесов. Необычный облик леса с господством пионов определил название этой статьи.

### Многоярусность высокотравной тайги

Высокотравным темнохвойным лесам свойственна ярко выраженная ярусность напочвенного покрова. Здесь в **первом ярусе** господствуют растения бореального разнотравья, которые дополнены крупными папоротниками. Высота растений достигает полутора — двух метров. Наиболее обычны: пион уклоняющийся (*P. anomala*), аконит северный (*Aconitum septentrionale*), дельфиниум высокий (*Delphinium elatum*), воронец красноплодный (*Actaea erythrocarpa*), недоселка копьелистная (*Cacalia hastata*), купальница европейская (*Trollius europaeus*), скерда сибирская (*Crepis*

*sibirica*), василистник малый (*Thalictrum minus*), щитовник австрийский (*Dryopteris dilatata*), орлячок сибирский (*Diplazium sibiricum*).

Всего в высокотравных лесах насчитывается не менее 41 вида цветковых растений и четыре вида папоротников — такие данные приводятся в 850 имеющихся на сегодняшний день геоботанических описаниях. Сравнение видовых ареалов, взятых из базы «Ареал» (составлена Т.С.Проказиной по литературным и гербарным материалам), приводит к выводу, что большинство видов — 31 из 45 проанализированных — произрастает в лесах всей Северной Евразии. Это свидетельствует о широчайшем распространении высокотравных лесов в прошлом и служит основанием для их более широкого поиска на востоке России.

**Второй ярус** напочвенного покрова этих лесов также необычен. Здесь растут неморальные травы, по своему происхождению связанные с широколиственными лесами. Это ранневесенние (т.е. эфемероиды): хохлатка плотная (*Corydalis bulbosa*), гусиный лук (*Gagea lutea*), ветреница алтайская (*Anemone altaica*). Кроме них — летне-вегетирующие: сочевичник (*Lathyrus vernus*), бор (*Milium effusum*), вороний глаз (*Paris quadrifolia*) и звездчатка (*Stellaria holostea*).

Неморальные виды, а из них особенно эфемероиды, вся надземная жизнь которых проходит до



Эфемероиды хохлатка плотная, гусиный лук желтый, ветреница алтайская на поляне в высокотравном лесу весной. Печоро-Илычский заповедник.

Фото А.С.Ефименко

формирования лиственного полога и требует достаточно света, в распространении тесно связаны с широколиственными деревьями и осиной. В темнохвойной же тайге присутствие этих видов выглядит неожиданным. Однако реконструкция ареалов широколиственных пород в позднем голоцене приводит к выводу, что они распространялись значительно дальше на север, чем в настоящее время [13]. Вероятно, неморальные виды в темнохвойных лесах подтверждают это. Надо особо отметить, что эфемероиды в тайге сохранились только в высокотравных лесах с их богатыми и влагоемкими почвами, и преимущественно на полянах, где света вполне достаточно.

В **третьем ярусе** обитают мелкие травы: кислица, седмич-



Элементы ветровально-почвенного комплекса: бугор и западина в высокотравном лесу. Печоро-Илычский заповедник.

Фото А.А.Алейникова

ник, майник и другие, которые растут и в зеленомошных лесах.

**Четвертый ярус** образуют стелющиеся по поверхности почвы гемибореальные мхи рода *Plagiomnium*, а также *Barbilophozia lycopodioides*, *Brachythecium reflexum*, *Rhizomnium magnifolium*, *Rhodobryum roseum* и др. В зеленомошных лесах эти виды редки. Характерные же для зеленомошных лесов мхи, такие как *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens*, на почве высокотравных не растут. Здесь их единственное местообитание, где они доминируют, — валежины, на которых в начальных стадиях зарастания эти мхи формируют сплошной ковер (в небольшом количестве также имеются виды бореального мелкотравья и черника).

Есть еще одна удивительная особенность высокотравных лесов. В основании стволов крупных елей и кедров растет брусника и встречаются кустистые лишайники родов *Cladonia* и *Cladina* — типичные обитатели сосняков. Невероятное множество эколого-ценотических групп (видов, предпочитающих сходное местообитание) в напочвенном покрове высокотравных лесов — результат большого разнообразия условий обитания (*микростообитаний*) растений. Так, кроме валежин в высокотравных лесах обычны западины — ямы и бугры, формирующиеся в результате выворачивания кома земли падающим деревом. В ямах часто поселяются нитрофильные растения, которые хорошо растут только на почвах, богатых биодоступными соединениями азота. Среди этих обычных обитателей приречных ольховых лесов — селезеночник очереднолистный (*Cbryosplenium alternifolium*), звездчатка дубравная (*S.nemorum*), таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*). А на буграх растут лугово-опушечные виды — вика (*Vicia sepium*), мятлик (*Poa pratensis*) и др. По мере разложения валежин, зарастания бугров и западин, т.е. по мере изменения микростообитаний, меняется и видовой состав растений: на смену специфическим видам приходят фоновые. Поскольку валежины, бугры и западины появляются постоянно, в высокотравных темнохвойных лесах одновременно существует огромное разнообразие экологически различных видов сосудистых растений и мхов [14].

Самые обычные почвы высокотравных лесов — буроземы типичные и грубогумусные. Их диагностические признаки: хорошо структурированный гумусовый горизонт мощностью до 30–60 см (иногда более), относительно высокое содержание органического вещества (3.5–5.5%), нейтральный или слабощелочной pH (от 5.0 до 6.2), хорошее обеспечение кальцием, калием и фосфором по сравнению с другими почвами таежных лесов.

Почвы высокотравных лесов высоковлажные, поэтому снижена возможность их возгорания. На водоразделах в большинстве почвенных профилей признаки пожаров не обнаружены [14].



Бурозем грубогумусный в высокотравном лесу. Печоро-Ильчский заповедник.

Фото А.Д.Бовкунова

Сравнение растительности и почвы двух типов северных лесов — зеленомошных и высокотравных — свидетельствует о влиянии антропогенного фактора на развитие и формирование современной тайги, меняет наше представление о ее природном облике.

## Индикаторы состояния лесов

К настоящему времени в восточноевропейских заповедниках накоплен большой материал по динамике лесов. Подобраны ряды растительных сообществ, живущих в сходных экотопических (внешних) условиях, но отличающихся давностью и типами антропогенных нарушений. Эти исследования позволили выделить *набор признаков-индикаторов* сукцессионного (от лат. *successio* — преемственность, наследование) состояния лесных сообществ:

— соотношение раннесукцессионных (пионерных) и поздне-сукцессионных (климаксовых) видов, вычисленное по сумме площадей поперечных сечений деревьев;

— распределение поздне-сукцессионных видов деревьев по возрастному состоянию (по типам онтогенетических спектров);

- наличие ветровальных почвенных комплексов: бугров, валежин и западин;
- разнообразие эколого-ценотической структуры напочвенного покрова;
- видовое богатство (число видов, характерное для сообщества) и видовая насыщенность (число видов на единицу площади) сосудистых растений и мхов.

Процессы восстановления природного облика лесов (аутогенные сукцессии) характеризуются определенными *закономерностями в изменении признаков-индикаторов*. Анализ рядов лесных сообществ, выстроенных по давности антропогенных нарушений, позволил нам выявить пять следующих закономерностей.

1. Сумма площадей поперечных сечений деревьев пионерных видов на начальных стадиях аутогенной сукцессии близка к 100%, а на завершающих стадиях их количество снижается, при этом доля климаксовых не превышает 15%.

2. Популяции деревьев климаксовых видов на среднем этапе сукцессии представлены только семенами или молодыми особями, а на завершающем — это нормальные полночленные популяции, что говорит об устойчивом потоке поколений.

3. Системы микроместообитаний — бугры, западины и валежины — на среднем этапе сукцессии в сообществе только формируются, а на завершающем присутствуют во всех стадиях преобразования примерно в равных соотношениях.

4. В напочвенном покрове после смыкания полога темнохвойных деревьев в начале развития сообщества произрастают виды одной-двух эколого-ценотических групп, на завершающих стадиях — виды всех групп или их большинства. Последнее обстоятельство отражает максимально возможное природное разнообразие микроместообитаний.

5. Видовое богатство и видовая насыщенность в начале сукцессии минимальны, а на поздних ее стадиях — максимальны для данной территории. Таким образом, благоприятно сочетаются множество различных местообитаний и наличие семян и спор всех видов растений, способных заселить эти места.

Именно высокотравным лесам присуща максимальная выраженность перечисленных признаков.

Онтогенетические спектры ели и пихты в этих сообществах нормальные, полночленные. Здесь есть полный набор бугров, западин и валежин, свидетельствующий о постоянном поддержании гетерогенности высокотравных лесов [15, 16]. Видовое богатство сосудистых растений в разных частях изученной территории, представленной на карте ареалов, достигает 150—200 видов, видовая насыщенность — 30—60 видов на 100 м<sup>2</sup>. По суммарному покрытию и фитомассе в напочвенном покрове доминирует высокотравье. В зеленомошных лесах все эти показатели значительно снижены. Видовое богатство сосудистых рас-

тений составляет 30—50 видов, видовая насыщенность — 5—10 видов. По суммарному покрытию и фитомассе в напочвенном покрове доминируют зеленые мхи [6, 14].

Итак, оценка по признакам-индикаторам состояния высокотравных темнохвойных лесов позволила заключить, что они находятся на завершающем этапе восстановления после нарушений, в то время как зеленомошные — на среднем. Судя по тому, что в почве большинства таежных лесов можно найти уголь, наиболее вероятная причина нарушений — мощные верховые пожары.

Давность последних пожаров (по предварительным радиоуглеродным датировкам) в высокотравных лесах Печоро-Ильчского заповедника составляет 600—1000 и более лет, а в зеленомошных не превышает 200—250 лет.

Вполне вероятно, что часть исследованных высокотравных лесов не испытала мощных антропогенных воздействий и представляет собой рефугиумы (прибежища, укрытия) истинно природной тайги. Иными словами, возможно, это участки, избежавшие влияния человека. Чтобы четко различить обозначенные таким образом два варианта высокотравных лесов, необходимы дополнительные исследования их биоразнообразия и структурно-функциональной организации.

## Доисторический облик тайги

Полученные результаты позволяют реконструировать природный облик тайги. Можно предположить, что именно высокотравные леса определяли его. Об этом свидетельствуют их распространение от северных пределов лесного пояса до южной тайги, экотопическое разнообразие и способность существовать в суровом климате, сохраняя смешанный (неморально-бореальный) характер флоры.

Наше предположение созвучно учению о происхождении современной таежной зоны из арктических (т.е. распространённых в миоцене по всей полярной области) лесов в результате постепенного изменения климата. Эти представления были независимо сформулированы А.И.Лесковым [17] и В.Б.Сочавой [18] на основе биогеографических исследований, а также на базе палеоботанических — В.П.Гричуком [19] и П.И.Дорофеевым [20]. Неморально-бореальный характер травяно-кустарничкового яруса высокотравных темнохвойных лесов также можно рассматривать как аргумент в пользу происхождения современной тайги из арктических лесов [12, 21]. Такой ярус может сформироваться только при наличии: опада лиственных деревьев (поскольку под их пологом чаще встречаются неморальные виды); западин, где обычно обитают нитрофильные растения и гемибореальные мхи; валежин, на которых концентрируются бореальные мелкие травы, кус-

тарнички и зеленые мхи; межкрупных участков, с господством высокотравья и др. Поэтому произрастание неморальных видов трав в северной и средней тайге, где есть только мелколиственные деревья, косвенно может свидетельствовать о былом присутствии в них и широколиственных.

Высокотравные леса ярко выделяются среди всех северных таежных лесов своим видовым богатством. Мы уверены, что это наиболее значимый объект для оценки биологического разнообразия тайги и возможностей реализации ее экосистемных функций. ■

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-04-01491а), программы Президиума РАН «Живые системы» и гранта Президента РФ (МК-2102.2012.4).**

## Литература

1. Curtis I.A. Valuing ecosystem goods and services: a new approach using asurrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes // *Ecologic. Economics*. 2004. V.50. №3—4. P.163—194.
2. Горшков В.Г., Макарьева А.М., Лосев К.С. Планетарный парниковый эффект и биотическая устойчивость климата Земли // Изв. РАЕН. Секция наук о Земле. 2001. Вып.7. С.62—68.
3. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы / Ред. А.С.Исаев. М., 2008.
4. Толмачев А.И. К истории возникновения и развития темнохвойной тайги. М.; Л., 1954.
5. Смирнова О.В., Коротков В.Н. Старовозрастные леса Пяозерского лесхоза северо-западной Карелии // *Ботан. журн.* 2001. Т.86. №1. С.98—109.
6. Смирнова О.В., Бобровский М.В., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э. Сукцессионный статус старовозрастных темнохвойных лесов Европейской России // *Успехи совр. биол.* 2006. №1. С.26—48.
7. Бобровский М.В. Лесные почвы Европейской России: биотические и антропогенные факторы формирования. М., 2010.
8. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / Ред. О.В. Смирнова. Кн.1—2. М., 2004.
9. Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия / Ред. О.В.Смирнова и Е.С.Шапошников. СПб., 1999.
10. Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России / Ред. Л.Б.Заугольнова. М., 2000.
11. Заугольнова Л.Б., Мартыненко В.Б. Определитель типов леса Европейской России. М., 2013. <http://mfd.cepl.rssi.ru/forest>.
12. Заугольнова Л.Б., Смирнова О.В., Браславская Т.Ю. и др. Высокотравные таежные леса восточной части Европейской России // *Растительность России*. 2009. №15. С.3—26.
13. Смирнова О.В., Бакун Е.Ю., Турубанова С.А. Представление о потенциальном и восстановленном растительном покрове лесного пояса Восточной Европы // *Лесоведение*. 2006. №1. С.22—33.
14. Смирнова О.В., Алейников А.А., Семиколенных А.А. и др. Пространственная неоднородность почвенно-растительного покрова темнохвойных лесов в Печоро-Илычском заповеднике // *Лесоведение*. 2011. №6. С.67—78.
15. Алейников А.А., Бовкунов А.Д. Микромозаичная организация крупнопоротниковых и высокотравных пихто-ельников Печоро-Илычского заповедника // Изв. ПГПУ им.В.Г.Белинского. 2011. №25. С.21—35.
16. Алейников А.А., Лазников А.А. Пространственная организация крупнопоротниковых лесов в верховьях реки Печоры (Печоро-Илычский заповедник) // Изв. Самарского научного центра РАН. 2012. Т.4. №1 (5). С.1180—1183.
17. Лесков А.И. Принципы естественной системы растительных ассоциаций // *Ботан. журн.* 1943. Т.28. №2. С.37—52.
18. Сочава В.Б. Вопросы флорогенеза и филоценогенеза маньчжурского смешанного леса // *Материалы по истории флоры и растительности СССР*. М.; Л., 1946. Вып.1. С.283.
19. Гричук В.П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М., 1989.
20. Дорофеев П.И. Новые данные о плейстоценовых флорах Белоруссии и Смоленской области // *Материалы по истории флоры и растительности СССР*. Вып.4. М.; Л., 1963. С.5—180.
21. Смирнова О.В., Калякин В.Н., Турубанова С.А., Бакун Е.Ю. Генезис восточноевропейской тайги в голоцене // *Закономерности вековой динамики биогеоценозов. XXI чтения памяти академика В.Н.Сукачева*. М., 2006. С.18—65.



# Плавание В.Баренца в свете космической информации

В.С.Корякин

Об арктических плаваниях знаменитого голландского путешественника и исследователя Виллема Баренца (1550—1597) нам известно из дневников одного из членов его команды, Херрита де Вейра (Геррита де Фера в транскрипции былых времен). Тексты были изданы в Амстердаме на голландском языке в 1598 г. Их первый перевод на русский язык — с латинского — увидел свет в 1936 г. [1]. В 2011 г. вышла новая книга — «Арктические плавание Виллема Баренца 1594—1597 гг.», которая представляет собой новый перевод, на этот раз с языка оригинала, выполненный профессором И.М.Михайловой и значительно отличающийся от предыдущего [2].

Теперь мы имеем возможность, во-первых, переоценить некоторые события тех плаваний. Во-вторых, используя современные карты, аэрофото съемку и космические материалы, проследить произошедшие за четыре столетия изменения облика некоторых природных объектов-ориентиров (включая спорные). И, наконец, подробнее узнать о роли поморов в освоении Арктики и об их взаимоотношениях с иностранцами.

Необходимо отметить, что плавание голландцев конца XVI в. стали вторым появлением иностранных моряков в этих районах Арктики, традиционно посещаемых только по-



*Владислав Сергеевич Корякин, доктор географических наук, участник многих полярных экспедиций. Почетный полярник. Область научных интересов — гляциология, история полярных исследований. Постоянный автор «Природы».*

морями. Первыми были англичане Х.Уиллоуби (1553), С.Борро (1556) и А.Пит с Ч.Джекманом (1580), но их путешествия в нашей исторической литературе освещены значительно меньше в отличие от плаваний Баренца.

## Пролив Югорский Шар

Еще в середине XVI в., после экспедиции Борро, в Европе стало известно о существовании самостоятельного о-ва Вайгач, отделенного от Новой Земли и материка проливами Карские Ворота и Югорский Шар, которые были нанесены на карту. Однако нидерландские моряки почему-то оказались не в курсе достижений предшественников — своих конкурентов на морских путях в Мировом океане, и пролив Карские Ворота на голландских картах показан не был. Несмотря на это, результаты морской съемки Баренца и составленная на их основе карта\* считается первой пригодной для использования в мореплавании и уже поэтому заслуживает независимой оценки — прежде всего с точки зрения положения основных береговых ориентиров.

Северный берег пролива Югорский Шар в районе бухты Варнека на голландских картах показан в высшей степени достоверно. Восточнее заметны существенные различия по сравнению с современным космическим снимком, скорее всего, из-за интенсивных дельтовых процессов в устье реки. На южном берегу пролива, в мес-



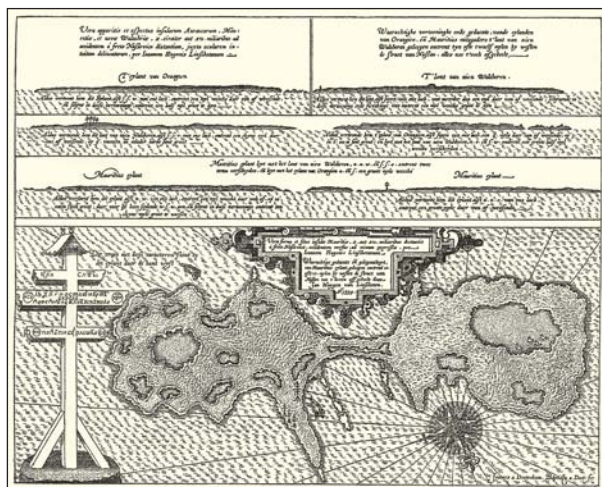
Пролив Югорский Шар, отделяющий о. Вайгач от материка, по съемкам экспедиции Баренца [1] и на космическом снимке (2013).

те впадения в него р. Нензатаяха, аккумулятивные процессы привели к причленению нескольких островов к суше. Восточнее же, вплоть до о. Местный (о. Мясной), коренной берег практически сохранил свое положение.

### Остров Матвеев

На карте еще одного участника экспедиции — Я. Линсхотена, опубликованной в его книге «Плавания на север 1594—1595 гг.», показан о. Матвеев (общей площадью примерно 6,5 км<sup>2</sup>), расположенный в 50 км к западу от Югорского Шара\*. Этот остров — самый северный в небольшом архипелаге — первоначально был назван в честь принца Мауриция из Оранской королевской династии.

Мне довелось посетить этот остров в 1991 г. Он представляет собой сочетание выходов коренных пород и соединяющих их многочисленных песчано-галечниковых кос, отчего береговая линия приобретает причудливые очертания. Линсхотен в своем описании упомянул о находках плавника (бревен, принесенных штормовыми волнами) на довольно большой высоте над урезом воды. Это, возможно, дополнительно повлияло на превращение острова в целую комбинацию томболо (пересыпей). Здесь много отдельных бухт, расположенных друг от друга на незначительных расстояниях. Из-за сложной ледовой и ветровой обстановки в этой части Баренцева моря бухты сыграли важную роль в освоении острова поморами, которые превратили его в своеобразную базу ожидания на подходах к Югорскому Шару — можно было использовать для стоянок различные бухты в зависимости от



Остров Матвеев в юго-восточной части Баренцева моря на карте Я. Линсхотена [1] и на космическом снимке (2013).

\* Север на карте Линсхотена находится не наверху, как мы привыкли, а внизу.

изменений ледовой обстановки и направления ветра. Это потребовало создания береговой навигационной схемы, представляющей в те времена систему многочисленных крестов — голландские моряки обратили на них внимание и нанесли на свои карты.

Форма острова на карте странным образом отличается от современной. Голландцы изобразили два довольно близких по размерам массива суши, соединенные песчано-галечниковой косой, тогда как на космическом снимке западный участок значительно меньше восточного. Нет никаких следов разрушения былой, значительной по размерам, западной части о.Матвеев какими-либо природными агентами. Скорее всего, налицо ошибка голландских моряков. А вот причина такой ошибки непонятна. Похоже, голландцы просто не посещали западную часть острова, на что указывает отсутствие на их карте в этом районе навигационных элементов.

Описание посещения Баренцем о.Матвеев в книге 2011 г. [2, с.210—212] вызывает вопросы не столько к переводчику (который, разумеется, не специалист-геоморфолог), сколько к научному редактору. Например, непонятно использование (причем неоднократно) термина «балка» применительно к подводному рельефу (возможно, имеется в виду банка?). Это весьма затрудняет анализ природной обстановки. Кроме того, отрывки из книги Линсхотена здесь подобраны таким образом, что остаются неясными последовательность событий и участие самого Линсхотена в открытии острова.

## Залив Ломсбэй

Привязка залива Ломсбэй (западное побережье Новой Земли), описанного де Вейром, к современной карте оказалась непростой задачей. Я всегда считал этот залив современной губой Южная Сульменева [3], хотя, например, в 1948 г. адмирал

Ф.П.Литке писал, что Ломсбэй теперь называется Крестовой губой. Прав же оказался редактор первого русского издания дневников де Вейра [1], выдающийся советский полярный исследователь В.Ю.Визе. Даже не имея в своем распоряжении космических снимков, он установил, что залив Ломсбэй, показанный на врезке голландской карты, — это губа Северная Сульменева.

Действительно, северный входной мыс Планция на голландской карте по очертаниям совпадает с современным мысом Черницкого. Остров, показанный на скальном продолжении мыса на карте, присутствует и на снимке — вероятнее всего, это крохотный о.Черницкого. Важно обратить внимание на еще один фрагмент голландской карты — небольшую бухту (частично скрытую орнаментом с изображением кайр), расположенную к востоку от мыса Планция. По форме она вполне похожа на залив между мысами Черницкого и Сиденснера на космическом снимке. Хотя некоторые несоответствия все же остаются. Так, по Баренцу, залив Ломсбэй находится на широте  $74^{\circ}20'$ , а губа Северная Сульменева — на  $74^{\circ}28'$ . Кроме того, существенна разница в расстояниях: судя по сводной таблице нового издания [2, с.166], от мыса Планция до кута залива Ломсбэй — почти 60 км (8 миль\*), а по современной карте — около 20 км.

## Пролив у полуострова Адмиралтейства

В центральной части Новой Земли, на ее баренцевоморском побережье, находится крупный п-ов Адмиралтейства с характерными очертаниями. Но во времена плаваний Баренца на месте полуострова был остров. Описания его восточного бере-

\* Здесь и далее речь идет о голландских милях. Одна голландская миля равна четырем морским (английским). Одна морская — это примерно 1852 м, следовательно, в голландской миле 7408 м.



Губа Северная Сульменева (залив Ломсбэй) в центральной части архипелага Новая Земля (о.Северный) по съемкам экспедиции Баренца 1594 г. и на космическом снимке (2013).



Космические снимки (2004) п-ова Адмиралтейства на западном побережье Новой Земли (слева) и пролива, отделявшего его от о. Северный (справа). Цифрами показаны конечная морена ледника Низкий (1), коренной берег полуострова (2) и участок аккумуляции ледникового материала, включая перемытые отложения (3).

[www.google.com/earth](http://www.google.com/earth)

га не оставляют сомнений в том, что существовавший здесь пролив был судоходным, хотя и неглубоким: «Восточная сторона Адмиралтейского острова небезопасна из-за скал; от них следует держаться на приличном расстоянии. Дно там тоже очень неровное, при первом измерении глубина оказалась 10 саженей, при втором, сделанном почти сразу, — всего шесть, а минуту спустя опять 10, 11, 12 саженей, и море там так и клокочет на отмелях» [2, с.35]. Два столетия спустя, по свидетельству Литке (1823), судоходный пролив уже не был: «в проходе между ним (Адмиралтейским островом. — В.К.) и матерым берегом так мелко, что никакое судно пройти не может» [4, с.226]. А уже в 1835 г. известный мореплаватель П.К.Пахтусов сообщает нам о существовании здесь полуострова: «Полуостров Адмиралтейства соединяется низким перешейком, который иногда покрывается водою» [5, с.144].

В книге 1936 г. Визе прокомментировал исчезновение пролива так: «Очевидно, превращение острова в полуостров явилось результатом общего поднятия суши Новой Земли» [1, с.48].

Здесь стоит отметить, что комментаторы нового издания книги де Вейра неожиданно ставят под сомнение существование острова: «Весьма сомнительно, что Баренц обошел его с восточной стороны. В те далекие времена фронт ледника Низкий, вероятно, проходил несколько западнее нынешнего» [2, с.173]. Ледник действительно оканчивался западнее, но из этого не следует ничего; сам факт может лишь подтвердить данные первопроходцев о том, что «восточная сторона Адмиралтейского острова небезопасна».

Исследовав в 1959 г. дно бывшего пролива, я объяснил его исчезновение погребением мореными отложениями ледника Низкий в эпоху малого ледникового периода. Ледник впоследствии от-

ступил, пролив заполнился рыхлым материалом, что и наблюдали Литке и Пахтусов.

Современную ситуацию на месте пролива хорошо демонстрирует космический снимок. Конечная морена ледника располагается примерно в километре от коренного восточного берега п-ова Адмиралтейства, а пространство между ними заполнено перемытыми ледниковыми отложениями. Не исключено, что пролив был еще шире, поскольку часть его погребена конечной мореной. В любом случае его ширины было более чем достаточно, чтобы опытные моряки воспользовались им, хотя и отметив «клокотание моря на отмелях» (что типично как раз для узкого пролива с прихотливым режимом течений, сложным рельефом дна и значительным перепадом глубин). По этой причине голландцы отказались от использования пролива в последующих плаваниях.

### «Большой залив» (залив Святой Анны)

Плавание голландских моряков от мыса Утешения 27 июля 1594 г. описано так: «...повернули в сторону NO, прочь от земли, и в полумиле от берега обнаружили отмель. ... Они плыли под парусами еще некоторое время курсом на NW ... Оттуда при ветре OSO прошли 4 мили на NO, затем взяли курс на S... после чего шли 4 мили на S и StO, так что дошли почти до большого залива»\* [2, с.41]. И это единственное место в отчете о плаваниях Баренца, где упоминается некий большой залив восточнее мыса Утешения. Современная карта показывает два

\* Направления (румбы): S (зюйд) — юг, NO (норд-ост) — северо-восток, NW (норд-вест) — северо-запад, OSO (ост-зюйд-ост) — восток-северо-восток, StO (зюйд-тень-ост) — 168.75° от направления на север.



Космический снимок «большого залива» Баренца (или залива Святой Анны, согласно карте Норденшельда) в северо-восточной части о.Северного Новой Земли (2013). Хорошо видны айсберги — один из признаков, по которым удалось идентифицировать залив: это современная бухта Мака.

www.maps.yandex.ru

возможных варианта: это бухта Мака и залив Иностранцева, удаленные от мыса на 60 и 90 км соответственно. Но ни использование метода навигационной прокладки, ни возвращение к описанию этого же фрагмента в издании 1936 г. не помогли понять, какой именно залив голландцы назвали «большим». Они приводят и другую важную природную информацию: отмечают в заливе и вблизи него скопления айсбергов. Правда, такой термин они не используют, поскольку сталкиваются с ними впервые, но приводимые ими сведения о соотношении высот надводной и подводной частей этих ледниковых образований исключают иное толкование. И как раз в бухте Мака крупный ледник Броунова демонстрирует временами настоящие «извержения» айсбергов, которые с высоты птичьего полета или на космическом снимке образуют целые «россыпи» на поверхности моря. Айсберги видны и на современных снимках, и в материалах аэрофотосъемки 1952 г.

Мыс Утешения — важный ориентир для оценки событий в плаваниях Баренца. Он расположен на широте 76°16' между заливами Русская Гавань и Чаява на западном побережье Новой Земли. Однако редактор книги де Вейра (2011) П.Б.Боярский «переносит» его на 40 км восточнее и отождествляет с о-вами Гольфстрим, расположенными примерно в 8 км от побережья, во времена Баренца якобы причлененными ледниками к о.Северный. Это маловероятно, так как ни один из современных исследователей не отметил на о-вах Гольфстрим присутствия свежих моренных отложений. В описаниях голландцев отсутствуют какие-либо упоминания о леднике между островами и сушей.

Во время плавания от мыса Утешения голландцы не просто увидели какой-то большой залив, они дали ему название — залив Святой Анны (судя по отчетной карте Баренца, опубликованной А.Э.Норденшельдом [6, с.256]). Это означает, что открытие бухты Мака состоялось не в 1870 г. норвежскими промысловиками, как считалось, а почти на 300 лет раньше экспедицией Баренца.

### Большой Ледяной мыс и «хороший залив»

В качестве важнейшего навигационного ориентира у северной оконечности Новой Земли Баренц выделил Большой Ледяной мыс, а неподалеку от него отметил «хороший залив с песчаным дном»\* [2, с.42]. Эти фор-



Фрагмент отчетной карты экспедиций Баренца, опубликованной Норденшельдом [6]. Стрелкой показано положение залива Святой Анны (бухты Мака).

\* В издании 1936 г. залив назван «красивым».

мы берегового рельефа отражены на карте А. Петермана, составленной в 1872 г. по результатам съемки норвежцев [7]. Однако вскоре и мыс, и залив исчезли — как с карты, так и с местности.

Большим Ледяным мысом Баренц назвал язык ледника (современного ледника Петерсена), выступающий далеко в море. В 1910 г. знаменитый исследователь Арктики В.А. Русанов писал: «...пришлось слышать, что Большой Ледяной мыс выдается не так далеко в море, как обозначено на картах. Однако в этом нельзя видеть нового географического открытия. Очертания мыса, состоящего из одного чистого льда, неизбежно должны из года в год изменяться. <...> При продолжительном уменьшении осадков и при повышении температуры возможно даже, что этот же самый Ледяной мыс превратится в Ледяной залив» [8, с.149].

Ко времени первого издания дневников де Вейра предположение Русанова оправдалось: ледник отступил. Это вызвало неверную трактовку результатов плаваний Баренца. Так, Визе считал, что Большим Ледяным мысом Баренц назвал не язык ледника, а мыс Карлсена (самый северный мыс Новой Земли).

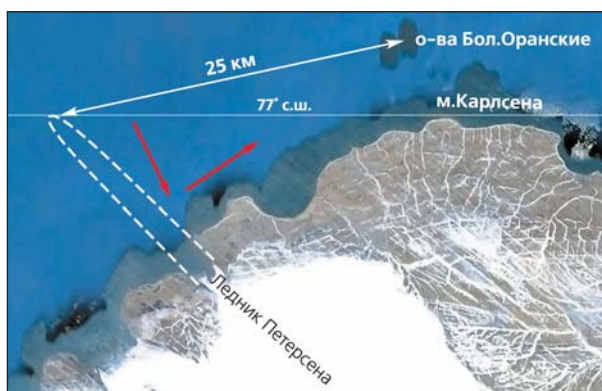
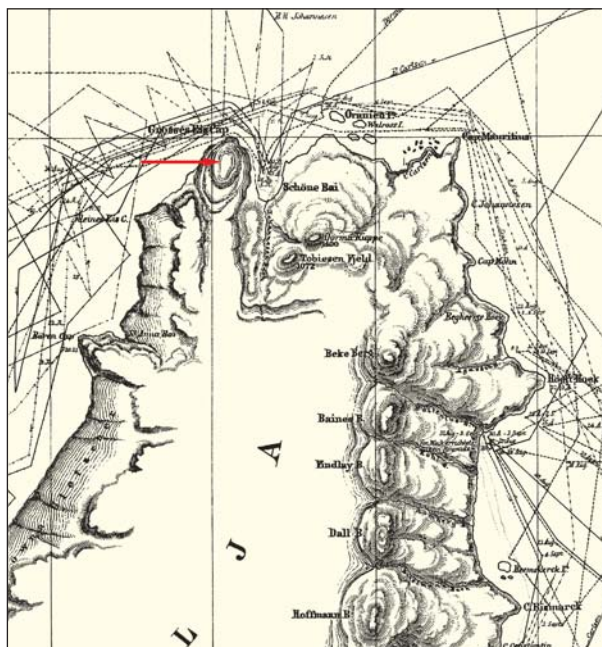
По сведениям Баренца, Большой Ледяной мыс располагался в направлении запад-тень-юг (258°) от Оранских о-вов, а расстояние между ними составляло 6 миль [2, с.42] (возможно, оно указано с учетом лавирования судна во льдах). Мыс протягивался до широты 77°, как и мыс Карлсена. Поэтому очевидно, что между ними существовал залив. И именно в него попали голландские моряки, обойдя Большой Ледяной мыс: «повернули на юг и прошли 2 мили StO между суши и льдом» [2, с.42]. Выполнить подобный маневр от мыса Карлсена (если считать его Большим Ледяным мысом) невозможно, так как к югу от него находится суша.

Таким образом, описания де Вейра наряду с наблюдениями норвежских промысловиков во второй половине XIX в. исключают любые сомнения в том, что Большим Ледяным мысом у северных пределов Новой Земли в те годы был назван протягивающийся до 77° с.ш. язык ледника Петерсена.

## Русские глазами голландских моряков

Следы присутствия поморов на Новой Земле (вплоть до 76° с.ш.) были обнаружены голландскими моряками еще в их первом плавании (1594). Это были навигационные кресты по берегам, а также русская промысловая база на п-ове Савина Коврига, которая к тому времени существовала там уже давно — судя по запасам продовольствия, остаткам судна на берегу и могилам поблизости.

В следующем плавании (1595) в водах Югорского Шара голландцам встретился поморский корабль с экипажем примерно из полутора десятков человек. На рисунке в книге де Вейра заметны отличия этого корабля от европейских (бортовые



Северная оконечность Новой Земли. Вверху — фрагмент карты А. Петермана (1872), стрелка указывает на Большой Ледяной мыс. Внизу — космический снимок (2013). Белым пунктиром показано восстановленное по наблюдениям Баренца положение ледника Петерсена (Большого Ледяного мыса), выдающегося в море до широты мыса Карлсена (77° с.ш.). Красными стрелками обозначен примерный маршрут корабля Баренца 29 июля 1594 г. в «хорошем» (или «красивом») заливе, ныне несуществующем.

доски поморы сплетали ивовыми корнями). Русское судно достигало в длину примерно 15 м, имело верхнюю палубу и одну мачту с прямым парусом, а главное, отличалось небольшой осадкой, позволявшей ходить по мелководью. Из-за разницы в тактике плавания и типе судов западноевропейские моряки не прошли на восток далее современной Амдермы, тогда как поморы во времена Баренца уже плавали до Енисея.

В третьем плавании Баренца случилось так, что силы людей были на исходе и поморы буквально спасли голландских моряков. Те получили всю необходимую помощь, а также средство от



Встреча голландцев с поморами [2].

цинги, которым в то время пользовались русские: ложечную траву (*Cochlearia officinalis*). Только в августе 1597 г. голландцы семь раз встречались с русскими. Благодаря им 12 человек из 17 избежали гибели. На страницах своей книги де Вейр неоднократно отмечал, что русские встречали их крайне доброжелательно. «Приближаясь друг к другу, и они, и мы выказывали обоюдно глубокое почтение, они по своему обычаю, мы по нашему.

ветских полярников эпохи О.Ю.Шмидта — в освоении арктических морей.

Таким образом, новое издание труда голландца Херрита де Вейра помогло нам по-новому взглянуть на историю российско-голландских отношений, уходящих корнями в далекое прошлое, а в сочетании с современными картами и космическими снимками — оценить изменения облика ряда природных объектов побережья Новой Земли. ■

## Литература

1. Фер Г. де. Плавание Баренца. 1594—1597 / Ред. В.Ю.Визе. Л., 1936.
2. Вейр Х. де. Арктические плавание Виллема Баренца 1594—1597 гг. / Ред. П.В.Боярский. М., 2011.
3. Корякин В.С. По следам экспедиций В.Баренца // Природа. 1997. №8. С.19—29.
4. Литке Ф.П. Четырехкратное путешествие в Северный Ледовитый океан на военном бриге «Новая земля» в 1821—1824 годах. М., 1948.
5. Дневные записки П.К.Пахтусова и С.А.Моисеева. М., 1956.
6. Норденшельд А.Э. Путешествие А.Э.Норденшельда вокруг Европы и Азии на пароходе «Вега» в 1878—1880 г. Ч.1. СПб., 1881.
7. Petermann A. Die neuen norwegischen Aufnahmen des nordostlichen Teiles von Novaja Semlja durch Mack, Dorma, Carlsen u.a. 1871 // Petermanns Mitteilungen. Bd.18. Gotha, 1872.
8. Русанов В.А. Статьи, лекции, письма. М.; Л., 1945.

<...> мы чувствовали себя хорошими товарищами с русскими. <...> мы говорили друг другу: теперь все будет хорошо и благополучно, раз мы добрались до людей...» [2, с.149, 150].

Не только поморы, но и коренные народы Севера ненцы, ничуть не опасаясь, шли на контакт с иностранцами. Про ненцев де Вейр написал: «Они не дикари, потому что у них есть здравый смысл» [2, с.58].

Все эти свидетельства не только характеризуют отношения наших предков с неизвестно откуда появившимися иноземными морями. Они показывают, насколько велик был размах поморской деятельности в Арктике задолго до XX в., когда она стала предметом государственных заявок и сопутствующих правительственных нот. В этом еще одна заслуга голландцев: они засвидетельствовали реальные заслуги поморов — предшественников со-

# Триада творчества великого Галилея

К 450-летию со дня рождения

*...Нужен был необыкновенный гений, чтобы открыть законы природы в таких явлениях, которые всегда пребывали перед глазами, но объяснение которых, тем не менее, всегда ускользало от изысканий философов.*

Ж.Лангранж [1, с.292]

Р.Н.Щербаков,  
доктор педагогических наук  
Таллин (Эстония)

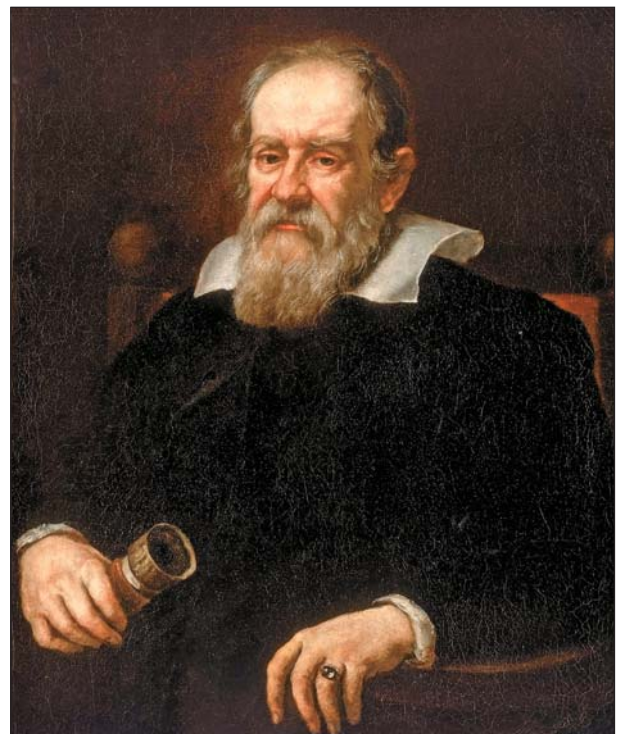
**Ч**ем крупнее личность, тем ощутимее ее влияние на идеологию и мировоззрение общества. Особенно если жизнь пришлось на тот момент истории, когда прежние идеалы и ценности уже неактуальны, а новые еще не приобрели свою бесспорную значимость. С таким моментом и была связана творческая деятельность Галилея.

В ней прослеживаются три важнейших и взаимосвязанных между собой направления — та триада, что обессмертила его имя: ученый положил начало новой науке и мышлению, дал весьма убедительный образец их внедрения в общество и вступил в открытую полемику со святой инквизицией в защиту антиаристотелевской картины мира. Но если первые два в силу непривычности их восприятия были оценены по достоинству далеко не сразу и не всеми, то третье — понимание конфликта между ученым и церковью — особых усилий от общества той эпохи не потребовало, породив в его среде столь мощную волну страстей, отголоски которой докатились и до нашего времени.

Обычно большинство волнует не наука Галилея, но сделанный им однажды выбор между знанием и верой. Ибо победа истины над ложью, добра над злом, достойного над презренным всегда согревала душу человека, сохраняя ее от разрушения. Воспевание в литературе и искусстве драмы Галилея наглядно свидетельствует об этом.

Между тем два первых направления деятельности Галилея, сыграв свою роль в формировании науки, образа ученого и методов просвещения, заметно повлияли на последующую культуру. Через труды по истории и философии науки, учебники и популярные книги они продолжают служить познанию законов природы и воспитанию мировоззрения у широких масс.

Оценивая вклад Галилея в науку XVII в., С.И.Вавилов посчитал нужным заметить: «Галилей обладал в изумительной степени даром того, что... те-



Прижизненный портрет Галилео Галилея. Картина Юстуса Сустерманса. 1635 г.

перь называют «внедрением» научной истины» [2, с.6]. Без такого дара проникновение новых идей в общество затруднено, особенно если в нем популярны антинаучные настроения.

## Прегрешения прежней науки

Галилей родился 15 февраля 1564 г. в г.Пизе в семье композитора и теоретика музыки Винченцо Галилея. С 10 до 17 лет жил во Флоренции. Здесь отец дал ему гуманитарное образование, заронив





Старое здание Пизанского университета. В нем Галилей учился, а позднее преподавал (в наши дни это Высшая нормальная школа).

Фото Georges Jansoone

в сознание мысль, что в основе искусства лежит представление о перспективе, а геометрия в целом дает немало для понимания мира.

Началом творчества Галилея, связанного с Флоренцией — родиной итальянской интеллигенции XVII в., были не музыка и живопись, а техника с ее возможностью покорять природу. Инте-

своего пульса и ритмы музыки. В ходе наблюдений Галилей делает осторожный вывод (1583) о подтверждении ранее выдвинутой им гипотезы об изохронности колебаний маятника [3, т.II, с.443].

Увлечение механикой вынудило Галилея оставить медицину и покинуть университет незадолго до его окончания. Вернувшись во Флоренцию, ученый основательно занялся математикой, с успехом решил проблему гидростатического равновесия и весов (1586), написал работы о центре тяжести тел и о других темах. Тогда же он пришел к необходимости пересмотра аристотелевского толкования движения.

Сомневаясь в физике Аристотеля, Галилей, тем не менее, пока сохранял его космологию и методологию познания, убежденность в достижимости познания сущности вещей. Вместе с тем, он, осознав решающую роль эксперимента в раскрытии самой сущности явлений природы, начал приобретать прочные навыки анализа наблюдений, проектирования и постановки опытов, придавая особое значение опытам мысленным.

Имея уже признанные научные работы, он хотел занять место преподавателя Болонского университета. Но тщетно.



Пизанская башня, с которой будто бы Галилей, сбрасывая тела, установил закон свободного падения. На самом деле описанные им опыты — мысленные, что не мешает экскурсоводам рассказывать о них как о реальных.

И в 1589 г. уже в качестве профессора математики возвратился в Пизанский университет, где и началась его педагогическая и просветительская деятельность. 25-летний профессор читал лекции по астрономии и математике, а для дополнительного заработка давал частные уроки.

Здесь Галилей изучал конспекты лекций профессоров Пизанского и Римского университетов по натурфилософии, логике и философии и одновременно составлял комментарий к «Альмагесту» Птолемея, надеясь опубликовать его. В конечном итоге он пришел к выводу об ошибочности взглядов Аристотеля на движение и написал трактат «О движении» (1590). В эти же годы его занимало и учение Коперника.

Доводы Коперника опирались на повседневный здравый смысл. Но нужны были факты, подтверждающие, что земное и небесное подчиняются единым законам природы. Всерьез занявшись их поисками Галилею мешала неприязнь профессоров, вызванная его критическим отношением к авторитетам, независимостью в суждениях о порядках в университете и т.д. Это вынудит его через два года покинуть Пизанский университет.

С 1592 г. 28-летний ученый — профессор математики Падуанского университета. Его вступительная лекция своими фактами и логикой произвела на слушателей яркое впечатление. Лекции такого превосходного оратора и педагога, каким был Галилей, пользовались особым вниманием. Впечатляли логика его рассуждений, виртуозность и красноречие, позволявшие ему в дискуссиях побеждать своих оппонентов.

В Венеции Галилей знакомится с Мариной Гамба и вскоре в его семье рождаются дочери Вирджиния и Ливия, а еще позднее — сын Винченцо. Сохранилось 124 письма Вирджинии (в будущем — монахини Марии Челесты) своему отцу, они донесли до нас ее нежную любовь и душевные переживания вокруг событий, связанных с личной жизнью Галилея и положением в обществе [4].

### Исследование природы через призму опыта и расчета

По признанию Галилея, его работа в Падуанском университете, длившаяся 18 лет, совпала с самым плодотворным и счастливым периодом творчества. Будучи профессором, он знакомил студентов с такими темами, как сфера, «Альмагест» Птолемея, математика Евклида и механика Аристотеля, теория движения планет и с другими не менее важными проблемами, а также готовил для них нужные учебные курсы.

Со смертью отца на Галилео — старшего в семье — легли все тяготы по ее содержанию, обеспечению приданого для младших сестер и созданию приемлемых условий жизни уже для собственной семьи. Впрочем, ни растущее университетское



Аудитория в Падуанском университете, с кафедры которой, как считается, Галилей читал лекции в 1592—1610 гг.

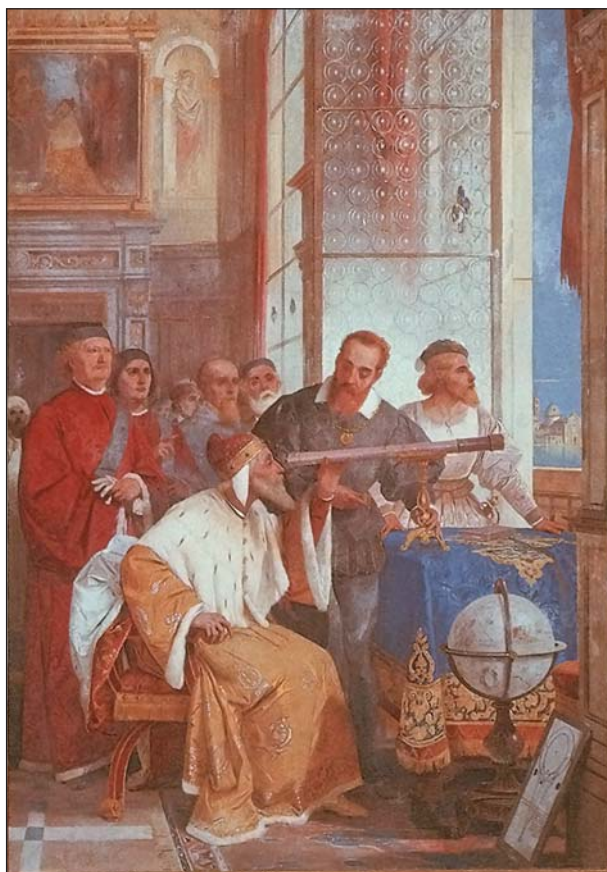
<http://www.unipd.it>

жалованье Галилея, ни его заработки от обучения молодых аристократов положения особо не спасали. Безденежье будет преследовать его всю жизнь.

В эти же годы у него начались ревматические приступы, со временем породившие новые болезни. Весенние и осенние обострения не позволяли ему заниматься научными, университетскими, гражданскими и семейными делами. Лишь забота и помощь родственников и, в первую очередь любимой дочери Вирджинии, скрашивали его жизнь.

Из читаемых на лекциях дисциплин Галилей выделял геометрию и астрономию, причем, на первых порах они еще не содержали новых идей и представлений, означающих его отход от физики Аристотеля. Возможно, при проведении своих частных уроков он и высказывался в пользу учения Коперника, но в аудитории, из-за отсутствия пока еще не найденных им убедительных доказательств, хранил молчание.

Продолжал ученый интересоваться техникой и сооружениями, для чего завел механическую и оптическую мастерские. В них он создавал приборы и инструменты, необходимые для проведения своих исследований. Здесь он сконструировал термометр (1592) и устройство для подъема воды (1594), изобрел пропорциональный циркуль для инженерных работ (1606), который будет широко применяться в последующие столетия.



Галилей в 1610 г. демонстрирует свой телескоп венецианскому дожу. Фреска Дж.Бертини. 1858 г.

Решая разные технические задачи, Галилей обращался и к проблемам механики. В 1593 г. (в первый же год его работы в Падуанском университете) вышла в свет «Механика», посвященная статике простых машин — перемещению, связанному с рычагом и наклонной плоскостью. При жизни ученого «Механика» была переведена на французский и английский языки в 1634 и 1636 гг.

Приобретение технических навыков, знакомство с университетской наукой, пробуждение интереса к динамике, а затем и к математике привели в конечном счете к тому, что накопленный Галилеем механический опыт обернулся для него своей теоретической стороной. Практическая механика стала для исследователя «школой изобретательного эксперимента» [5, с.217].

В 1604 г. в письме к своему другу Паоло Сарпи он дал закон свободного падения, известный сегодня каждому школьнику. В своей заметке об ускоренном движении Галилей, исходя из начального и явно ошибочного предположения, что скорость тела пропорциональна пройденному пути, пришел к истинному заключению, что путь этот пропорционален квадрату времени, т.е.  $s \sim t^2$ .

Свои открытия Галилей сопоставлял с учением Коперника, высоко оценивая его для механики.

Об этом он писал И.Кеплеру: «На точку зрения Коперника я встал уже много лет тому назад, и мне удалось на основе ее найти объяснение многим явлениям природы...» [2, с.91]. Исследуя проблему «техника—механика—астрономия», он при этом не подозревал о возможности ближайших занятий астрономией.

Крупным событием в ее развитии стало изобретение телескопа. Свой вариант этого прибора Галилей создал в 1609 г.: «...Я сделал себе свинцовую трубу, по концам которой я приспособил два оптических стекла, оба с одной стороны плоские, а с другой — первое было сферически выпуклым, а второе — вогнутым; приблизив затем глаз к вогнутому стеклу, я увидел предметы достаточно большими и близкими...» [3, т.I, с.21—22].

Ученый изготовил десяток телескопов, последний — с 32-кратным увеличением, сразу же осознав его пользу в морском и военном деле. «Но, оставив земное, я ограничился исследованием небесного»: обнаружил горы на Луне, спутники у Юпитера, пятна на Солнце, фазы Венеры, выяснил, что Млечный Путь — множество звезд, открыл либрации Луны, высказался о нестационарности «звездного мира».

Эти открытия, описанные им в «Звездном вестнике» (1610), произвели на современников большое впечатление, вызвали дискуссии в слоях европейского общества, а автора сделали необычайно знаменитым. Вместе со славой к нему пришли и почести. В том же году Галилей был удостоен почетного звания первого математика и философа при Флорентийском университете, куда он в 1610 г. переехал служить.

Параллельно с его работами Кеплер в Праге в том же 1610 г. издал трактат «Новая астрономия», в котором изложил два первых закона движения планет, и позже — в 1619 г. — третий закон. В 1611 г. Кеплер создал свою зрительную трубу, описав ее в «Диоптрике». Между учеными, изучавшими одни и те же проблемы оптики и астрономии, но по-разному оценивавшими их, ненадолго завязалась переписка.

Новые свершения не сразу овладевают сознанием широких масс. Зависит это от ученого и эпохи. По весьма точному замечанию Б.Г.Кузнецова, «на заре классической науки нужно было не только преобразовать представления людей о мире, но и преобразовать самый стиль их мышления, с тем чтобы новая наука могла войти в человеческие головы. Поэтому пропагандистский темперамент Галилея был исторически оправданным» [3, т.II, с.488].

Свои открытия Галилей обсуждал с учеными и с теми, кого особенно интересовали события в науке. В Падуе и Венеции, во Флоренции и Риме он в откровенных беседах с близкими ему по духу людьми рассказывал о наблюдениях, подтверждающих, по его мнению, учение Коперника. За свои достижения Галилей в 1611 г. избран в члены Ака-

демии деи Линчеи\* — в научное общество Рима, одно из первых в Европе.

После бесспорной победы в диспуте о природе холода Галилей в 1612 г. опубликовал работу «Рассуждение о телах, пребывающих в воде». Предназначенная широкому кругу читателей («Я писал на разговорном наречии, потому что хотел, чтобы все смогли прочесть эту книгу» [4, с.72]), она стала провозглашением и доказательством ряда научных истин и обоснованием методологии исследования.

Однако соглашаясь с открытиями Галилея и прославляя его как первооткрывателя нового, ни один из служителей церкви не допускал и мысли об объективном характере выводов из них и тем более обоснования этими открытиями истинности гелиоцентрической системы мира. Ибо наука, по их убеждению, не может претендовать на объективное знание, если она не учитывает канонизированных церковью догм [6].

Поэтому, вступив на священную территорию, на которой не было места учению Коперника (а на его позиции и стоял Галилей), ученый приобрел врагов среди верующих и особенно церковнослужителей. Опасность его сочинений, бесед и диспутов стала очевидной для католической церкви, и уже в 1616 г. она декретом конгрегации запрещает учение Коперника и его труд, а Галилею делает предупреждение.

Для ученого, убежденного в прогрессивности гелиоцентрической системы мира и положительном отношении к ней мыслящих людей, эти события обернулись трагедией. На восемь лет Галилей вынужден был оставить свои обсуждения и выступления в защиту учения. Это не помешало ему успешно продолжать свою научную деятельность: она лишь принимает более скрытые и утонченные формы.

В 1623 г. появилась его новая работа — «Пробирных дел мастер». В ней выдвинута идея коли-

\* Академия деи Линчеи (Accademia dei Lincei, буквально — Академия «рысеглазых») основана в 1603 г. Федерико Чези (1585—1630) вместе с тремя соучредителями с целью изучения и распространения научных знаний в области физики. Ее гербом служила рысь, которой приписывался столь острый взгляд, что он проникает сквозь предметы. Академия, первое заседание которой состоялось в Риме 17 августа 1603 г., сразу же подверглась яростным нападкам со стороны отца Ф.Чези, человека грубого, презиравшего всякие исследования; ему удалось заставить прервать заседания в 1604 г. Но в 1609 г. Чези преобразовал академию, пригласив в ее состав новых членов, не только итальянцев, но и иностранцев. Между 1609 и 1630 гг. Академия процветала и постоянно выступала с открытой защитой учения Галилея. Попытки поддержать ее деятельность после смерти Чези ни к чему не привели. В 1745-м, а затем в 1795 г. ее пытались преобразовать, в 1802 г. переименовали в Новую Академию деи Линчеи (Accademia dei Nuovi Lincei), а двумя годами позже вернулись опять к прежнему названию — Академия деи Линчеи. — *Примеч. ред.*



Телескоп Галилея. Музей истории науки, Флоренция.

чественного исследования природы, которое не зависит от авторитета, признание качественных свойств вторичными и сведение их к величине, форме, числу и движению, к конфигурации бескачественных однородных дискретных неделимых частей вещества. Но для этого еще не хватало доказательств, основанных на наблюдении, опыте, расчете. В математике Галилей видит судьбу, определяющего истинность полученных результатов. При этом особо подчеркивает, что книга Вселенной «постоянно открыта нашему взору, но понять ее может лишь тот, кто сначала научится постигать ее язык и толковать знаки, которыми она написана. Написана же она на языке математики, и знаки ее — треугольники, круги и другие геометрические фигуры...» [7, с.41]. Выводы математики относительно «неделимых» Галилей увязал со строением материи. Если принять, что тела состоят из неделимых частиц, можно «понять и явления разрежения и сгущения тел, не прибегая для объяснения первого к признанию пустых промежутков, а второго — к проникновению одних тел в другие» [3, т. II, с.154]. Таким образом, от математической атомистики он перешел к физической.

Назначение своего «Пробирщика» он видел в просвещении элиты Италии и всей Европы. Отрицание покорности принципу авторитета в фи-

лософии, требование самостоятельного языка физики, отстаивание права свободного научного исследования и свободной дискуссии в обществе придавало его сочинению функцию манифеста передовой философии познания, манифеста свободной от авторитетов науки.

К тому времени Галилей уже имел печальный опыт восприятия своих идей другими. В том же «Пробирщике» он писал: «...Стоило лишь мне для удовольствия или пользы... представить свои исследования публике, вызывало у многих желание умалить, похитить или опорочить ту толику признательности, которую, как я полагаю, заслуживают если не мои труды, то по крайней мере мои намерения» [7, с.15].

Свидетельством продолжавшихся в годы молчания интенсивных занятий наукой была публикация им в 1624 г. работы «Послание к Франческо Инголи». Напоминая в ней о своей неизменной верности новому научному знанию и его развитию, Галилей подчеркивал: «...мы остаемся обязаны высшим наукам, которые одни только и в состоянии развеять темноту, в которую погружен наш разум...» [3, т.1, с.60].

В этой работе содержится знаменитое утверждение ученого об относительности понятий и определении мер вещей, которые средневековая наука считала абсолютными; развивается учение об относительности движения, выведенного из мысленных опытов, которые происходят в каюте покоящегося или движущегося равномерно и прямолинейно корабля. Эти опыты известны сегодня всем, они вошли в учебники физики.

Именно там с позиций механики и астрономии Галилей пытается сформулировать доказательство истинности коперниканской системы мира. Краткое изложение своих аргументов представлено в том же «Послании к Инголи». Кроме принципа относительности обсуждается в нем и космология. Велись им и поиски таких форм обоснования гелиоцентризма, которые позволили бы избежать обвинения в ереси.

Гуманитарий по образованию и воспитанию, наделенный при этом талантами наблюдать и анализировать природные явления и, возможно, потому способный к осмыслению целостности физических явлений, Галилей своим творчеством «поверил алгеброй гармонию» природы, заложив основы того рационального восприятия мира, без которого и по сей день немислимо его понимание и освоение.

Пройдут века, и в 1964 г. на Галилеевском симпозиуме в Италии нобелевский лауреат Р.Фейнман подчеркнет: «Все, что мы делаем, все идеи и все методики соответствуют духу и позиции Галилея. <...> В точности придерживаемся тех же традиций, полностью следуем им — даже в деталях, при выполнении численных измерений и используем их как одно из лучших средств, по крайней мере в физике» [8, с.143].

## «Я решил выступить перед лицом света как свидетель непреложной истины»

Флорентийский период в жизни Галилея, длившийся с 1610 по 1633 г., был насыщен надеждами на свободу высказываний и последующим разочарованием в ее отсутствии. В нем были многочисленные проявления благожелательства со стороны власти и первые признаки скорых и серьезных гонений за свободомыслие в понимании устройства Вселенной.

Свободные от преподавания годы и последовавший затем запрет на пропаганду учения Коперника позволили Галилею сосредоточить свою научную деятельность на отыскании решающих аргументов в пользу гелиоцентризма. Появившиеся работы Галилея лучше всего свидетельствуют о его несомненных успехах в этом направлении, а также в развитии новой науки, ее методологии и философии.

Обобщающим сочинением, включившим в себя добытые ученым аргументы, стал «Диалог о двух главнейших системах мира» (1632). При его написании Галилей уточнил как содержание и формы построения обоснованного экспериментами и математикой материала, так и методы его внедрения в сознание читателя через практическую логику, учитывающую эмоции и оценки участников диалога.

В манере обсуждения тем «Диалога» просматривается неистовый и упрямый, подчиняющий себе других характер Галилея-просветителя. При этом, как говорил один из его современников, «прежде чем отвечать на аргументы оппонента, он упрощал и обесценивал их весьма ясными и наглядными свидетельствами, которые заставляли противника выглядеть особенно нелепо, когда, наконец, доводы его оказывались полностью разбиты» [4, с.66].

В конечном виде проблема, предложенная инакомыслящим, по сути своей приняла форму беседы читателя о проявлениях природы, приобретаемая в итоге гуманистическую значимость. Изложение взглядов на строение мира приведено в форме диалога, приводящего к научной истине. Тем не менее при всей осторожности Галилея его «Диалог» был подвергнут довольно сложной, с целым рядом поправок, цензуре.

«Диалог» — не монография, а популярное пособие на итальянском языке, преследующее мировоззренческие цели эпохи: приведенные астрономические и механические доводы в пользу учения Коперника опровергают в итоге геоцентризм Птолемея. Рассуждения даны в форме бесед трех венецианцев: Сальвиати, Сагрето (имена умерших друзей Галилея) и Симпличио — комментатора взглядов Аристотеля. Присутствует здесь и четвертое лицо — Академик, под его именем скрывается Галилей, незримо направляющий обсуждение мира идей.

В первый день героями «Диалога» обсуждается равномерное движение тел, во второй — уже точное вращение Земли, в третий — годовое обращение Земли и других планет вокруг Солнца и, наконец, в последний, четвертый, излагается теория приливов и отливов.

На гелиоцентризм работают принцип относительности движения; законы инерции и свободного падения тел (гораздо позже они будут развиты в учениях Ньютона и Эйнштейна [9]); движение тел по наклонной плоскости и брошенных под углом к горизонту; законы сложения движений и изохронности колебаний маятника. Здесь и опыт в корабельной каюте — иллюстрация относительности движения и покоя.

Простые в своей основе опыты и обстановка событий, знакомые по жизни Симпличио, Сальвиати и Сагрето, обращение к здравому смыслу и художественным образом способствовали формированию интереса читателя к актуальным для той эпохи проблемам движения, пониманию их существа и убедительности выводов. Однако этими особенностями содержание «Диалога» далеко не исчерпывается.

Ибо, чтобы убедить читателя в необходимости отказаться от геоцентризма и предпочесть ему учение Коперника, одной логики и художественных приемов мало. Потребовалось обращение к самой психологии личности, диалогической форме ее мышления, и Галилей это сделал искусно. Построение проводимых в нем рассуждений подчинено условиям, рождающим диалог. Вот как об этом сказано словами Сальвиати [3, т. I, с. 261]: «Рассуждения зависят от того, что приходит в голову не одному, а трем, и, беседуя по своему вкусу, мы не связаны той строгостью, которая обязательна для рассуждающего ex professo методически об одном предмете, к тому же, быть может, с намерением обнародовать свое рассуждение. Я не хочу, чтобы наша поэма [«Диалог». — Р.Щ.] была настолько связана требованием единства, чтобы у нас не оставалось свободного поля для эпизодов...».

В развитии рассуждений анализируется птолемеевское воззрение на мир, но предлагается и иная позиция — учение Коперника. На первых порах в сознании участников дискуссии соседствуют вместе две взаимоисключающие теории. Лишь затем проявляют себя преимущества гелиоцентризма перед геоцентризмом. При этом радикально новое начинает вытеснять предыдущее. Процесс протекает плавно, без насилия над личностью.

Диалогическое действо о новейшем понимании мира построено Галилеем настолько мастерски, что в итоге вся совокупность логических и геометрических построений, образных и литературных воспоминаний, описаний, полемических выступлений и эмоциональных признаний автора ведут читателя к постепенному освобождению от прежних представлений и прежнего стиля мышления о природе и о себе.

Разрушая своим «Диалогом» устаревшие представления о природе на Земле и на небесах, Галилей взамен предложил новое знание, на основе которого формировал объективное научное мировоззрение. Устами Сальвиати ученый убеждает в том, что «человеческий разум познает некоторую истину столь совершенно и с такой абсолютной достоверностью, какую имеет сама природа...» [3, т. I, с. 201]

Итак, убедительное обоснование истинности учения Коперника проведено Галилеем на логическом, философском, риторическом и психологическом уровнях, что обеспечило ему высокую популярность в широких кругах европейского общества XVII в. Однако время поставит перед наукой, образованием и культурой новые проблемы, уводя в небытие актуальность и содержание проблем прошлого.

Спустя два с лишним столетия после появления этого сочинения Ф. Араго, оценивая форму его изложения, заметит: «Самые простые предметы изложены так многословно, что в наше время книга ничего не произведет, кроме скуки. Хотя в ней есть истины, достойные внимания, но они закрыты кучей ничтожных комплиментов, которыми потчуют друг друга разговаривающие» [10, с. 76].

Сегодня «Диалог» любопытен лишь историкам. Но его значение сохраняется также и в том, что в нем представлен мастерский в дидактическом и литературном плане образец популярной книги, пример того, как она может помочь в понимании нового и потому служит источником возможных форм и методов обучения и популяризации науки [11].

## Новая наука в противостоянии с идеологией власти и общества

Анализируя научные взгляды Галилея на фоне идеологических и политических особенностей его эпохи, было естественно ожидать возникновения конфликта с католической церковью, ее инквизицией. И как бы ученый ни осторожничал, в глазах общества он неумолимо приближался к своему трагическому концу.

Популярность галилеевских «Звездного вестника», «Пробирных дел мастера», «Послания к Инголи» и особенно «Диалога» привлекла к нему пристальное внимание инквизиции. Впрочем, к Галилею как ученому прислушивались уже давно, критически его воспринимали и, более того, писали на него доносы несогласные и оскорбленные в своих взглядах на божественный мир профессора, теологи и простые верующие.

В итоге в том же 1632 г. «Диалог» был запрещен, а сам Галилей в 1633 г. призван к ответу. Главным обвинением ему стала не столько защита гелиоцентризма, сколько проповедуемый им в «Пробирщике» атомизм, подрывавший основ-

ной догмат религии — таинство пресуществления, что грозило ему смертной казнью\*. На 11-й день допроса его вынуждают подписать отречение и от учения Коперника.

Оно принесло удовлетворение верующим, но произвело тяжелое впечатление на сторонников Галилея. Р.Декарт, узнав о сожжении экземпляров «Диалога» и осуждении его автора, писал: «Это меня так поразило, что я почти решился сжечь все мои бумаги или по крайней мере никому их не показывать... Признаюсь, если движение Земли есть ложь, то ложь и все основания моей философии...» [12, с.481].

Мягкая мера обвинения Галилея объяснялось благосклонностью к нему Папы Римского и его приближенных, стремившихся в основном укрепить свои позиции в расстановке религиозно-политических сил и вместе с тем сохранить жизнь великому ученому, признанному украшением католической культуры. Тогда же возникла легенда, согласно которой Галилей якобы в конце заметил: «*Erriur si muove*» («Все-таки она вертится»).

\* О суде на Г.Галилеем см.: *Дмитриев И.С.* Упрямый Галилей // Природа. 2009. №10. С.64—80. — *Примеч. ред.*

По мнению отечественных историков науки, «кажется совершенно невозможным думать, что он надеялся аргументами, изложенными в «Диалоге», расположить к себе и своим убеждениям Папу или кого-либо из иезуитов. Он либо об этом и вовсе не думал, либо умышленно провоцировал Святой дворец на скандал, справедливо полагая, что это добавит славы его книге и его воззрениям» [13, с.130—131].

Процесс сыграл немалую роль в популяризации взглядов ученого и его личности. Приговоренный к заточению, он вскоре отбыл в Сиену близ Флоренции, а спустя полгода ему разрешают поселиться в своем доме в поселке Арчетри, расположенном на холмах в двух километрах к югу от Флоренции. Находясь под домашним арестом, письма он подписывал: «Из моей темницы в Арчетри».

И лишь в конце XX в. Папа Римский Иоанн Павел II объявил решение суда инквизиции над Галилеем ошибочным. Дело Галилея закрыто, он реабилитирован. А 2009 г. — год 400-летия изобретения телескопа и первых телескопических наблюдений Галилея — будет отмечен как Всемирный год астрономии.



Галилей перед римской инквизицией. Картина Кристиано Банти, 1857 г.

## «Мы создаем совершенно новую науку о предмете чрезвычайно старом»

Уже через две недели после пережитой драмы 69-летний Галилей придет в себя и обратится к механике. А в 1638 г. в Голландии выйдет в свет его труд «Беседы и математические доказательства», где он предлагает более сложную кинематическую картину мира, которая включает в себя ускоренное движение в силовых полях.

Если в «Диалоге», направленном против аристотелева тезиса о статической гармонии бытия, в повествовании, по словам Кузнецова, «стучат клинки и если не люди, то аргументы сталкиваются, падают, снова поднимаются и снова падают», то «Беседы» «проникнуты спокойной примиренной мудростью...» [6, с.225], пришедшей к Галилею с опытом жизни и 40-летней научной деятельности и диктовавшей уже новые задачи. К тому же «Беседы» не просвещают читателя. Они предназначены для специалистов, и потому в них даются уточненные представления об обсуждаемых проблемах. В основном это проблемы механического подобия, колебания, акустики, строительной механики, механических движений и оптики. В ходе их обсуждения Галилей опирается на опыт ремесленников, эксперимент и математические расчеты. Он демонстрирует владение количественными характеристиками скорости, ускорения, пониманием формы закона ускоряющих сил и закона инерции. Ученый доказывает, например, что период колебаний маятника зависит не от его массы, но от длины нити («длины маятников обратно пропорциональны квадратам чисел их качаний, совершаемых в течение определенного промежутка времени» [3, т. II, с.190]).

Галилей отмечает, что скорость тела присуща самому телу, «в то время как причины ускорения или замедления являются внешними; это можно заметить лишь на горизонтальной плоскости, ибо при движении по наклонной плоскости вниз наблюдается ускорение, а при движении вверх — замедление. Отсюда следует, что движение по горизонтали является вечным...» [3, т. II, с. 282].

В «Беседах» обсуждаются также проблемы геометрической и физической оптики. В частности, рассказывается о попытке Галилея определить скорость света с помощью двух наблюдателей с фонарями. Опыт не удался, и все же ученый пришел к правильному заключению о конечности скорости света. Он ставил опыты с призмой, наблюдал дифракцию света, уделял внимание изучению фосфоресценции.

Впоследствии ученый намеревался написать работу по оптике. «Вероятно, — предполагал С.И.Вавилов, — она имела бы излюбленную Галилеем форму оптического диалога или беседы с непринужденной логикой, художественной живописью и огромным содержанием в области опыта, наблюдения и научной философии» [2, с.56].

Но его замысел остался невыполненным, а сделанное им — неиспользованным.

Таким образом, последнее сочинение Галилея стало серьезным научным трудом ученого, вошедшим в себя все главное, что он к тому времени знал, понимал и умел делать в той области знаний, которая спустя столетие приобретет статус экспериментально-математических дисциплин — механики и физики. Очевидно поэтому «Беседы» со временем привлекли внимание историков и философов.

Содержание книги пронизано мыслью ученого о том, что техническая практика содержит опытный материал для теоретических выводов. Галилей настаивает на полезности рассмотрения технической задачи как задачи физико-математической. В таком случае применение опыта и математики особенно важно. Он первым из ученых своего времени поставил вопрос о необходимости союза науки и производства.

## Об особенностях творчества гения

Пережив трагедию церковного суда, а затем и потерю старшей дочери (1634), Галилей, однако, не прерывал связи с учеными. Переписка с Дж. Борелли, Б.Кавальери, В.Вивiani, Б.Кастелли, Э.Торричелли — тому свидетельство. Его письма к ним служили их воспитанию и поддержке тех идей и представлений, в коих он видел развитие новой науки и философии.

В возрасте 73 лет, уже слепым, Галилей получил опубликованные «Беседы». «Эта Вселенная, — сетует ученый, — которую я своими наблюдениями и ясными демонстрациями расширил в сотни, нет, в тысячи раз за пределы, видимые обычными людьми на протяжении прошедших веков, теперь для меня уменьшилась и сократилась так сильно, что сжалась до жалких очертаний моего собственного тела» [4, с.466].

Не дожив месяца с небольшим до своего 78-летия, Галилей скончался 8 января 1642 г. и был похоронен в церкви Санта-Кроче. Последние часы у его постели находились Вивiani, Торричелли и сын ученого — Винченцо. В 1656 г. впервые вышло собрание сочинений Галилея, причем «Диалог» в него тогда еще не был включен.

Как и большинство его современников, Галилей был гуманистом и естественником, математиком и философом. Познавая посредством логики, опытов и расчетов явления природы, он верил в ее независимое существование. Ученый подчеркивал: природа бесконечна, как и бесконечно ее познание, материя однородна, вещество неуничтожимо, а сам мир рационален и подчинен механической причинности.

По его убеждению, отыскание причин явлений — главная цель науки. Доказывать истинность ее положений, значит исходить «из их первона-





Дом-музей Галилея в Арчетри (Флоренция), в котором ученый провел последние годы своей жизни (ныне принадлежит факультету астрономии Флорентийского университета), и бюст Галилео Галилея, установленный на фасаде дома-музея в 1843 г. Фото Cyberuly

чальных и бесспорных основ» [3, т. II, с. 120]. При этом сами гипотезы следует проверять на опытах, одни из которых реальные, но по большей части — мысленные. Глубокие по своему исполнению, они позволяли ему получать важные теоретические выводы.

Галилей так описал себя в «Диалоге» словами Сальвиати: «Академик всегда был экспериментатором не менее прилежным, чем любознательным» [3, т. II, с. 382]. Он видел назначение опытов в отыскании механизма объяснения явления для себя и для других. Объяснение будет приближенным, ибо не существует тел, свободных от внешнего влияния, и потому экспериментатор, по словам Галилея, «не должен удивляться, если он потерпит неудачу...» [5, с. 234].

В зависимости от поставленной задачи Галилей ставил либо реальные эксперименты, либо мысленные. Их он проводил гораздо чаще своих предшественников, ибо были причины в непроведении реальных. К тому же натурные опыты не убеждали адептов физики Аристотеля: они больше доверяли логике рассуждений, лежащей в основе мысленных опытов.

Что же касается математики, она для него была языком науки и средством исследования. Считая надежным методом геометрию, Галилей арифметику и алгебру обычно не применял, и потому их отсутствие в расчетах нередко приводило к нехватке нужных средств, порождая нечеткость в его метафизических и физических представлениях.

Галилей стал основателем экспериментального и математического естествознания, сделав первые

реальные шаги в этом направлении. Своим творчеством он рисовал количественную картину мира, которая была еще недостаточно конкретной и связанной и потому не могла претендовать на роль собственно научного мировоззрения.

По определению Кузнецова, «стихия Галилея — мысленные эксперименты, кинематические и динамические картины и логические конструкции; пафос Галилея — пафос *возможности* математического постижения мира; эпоха Галилея — утро математического анализа непрерывного движения тождественных себе частиц» [6, с. 10–11].

Его творчество — заря той механики, что будет создана Ньютоном, появившимся на свет спустя год после смерти Галилея. Применив открытия Галилея и развив его экспериментальные и математические методы, Ньютон своим творчеством привел науку к качественному скачку в создании новых теоретических моделей описания природы.

### Галилей — своим последователям

Галилео Галилей и в науке, и в литературе был представителем гуманистической традиции, прекрасно разбирался в музыке, искусстве и поэзии и даже слыл признанным их знатоком. Но, в отличие от своих современников, он стремился разграничить художественное и научное творчество, придав последнему истинную самостоятельность.

Своим стилем мышления и методами исследования он дал нам образец ученого, способного к рациональному изучению явлений природы, по-

истине научному и мировоззренческому обобщению полученных данных, образец исследователя, постоянно заботящегося как о защите научных представлений от ненаучных, так и об этике суждений в целом.

«Когда требуется напрячь разум, люди имеют обыкновение поступать так: чем они менее сведущи в предмете и чем слабее разбираются в нем, тем решительнее о нем судят; с другой стороны, располагая кое-какими сведениями и кое-что понимая, они с большой осторожностью выносят свои суждения о чем-нибудь новом» [7, с.113].

Творчеством и методами его внедрения в общество Галилей существенно повлиял на научно-мировоззренческие представления эпохи. Для нас же конкретную ценность имеет то, как в процессе диалогического общения он помогал осваивать идеи научного подхода к явлениям природы, постигать ее законы и убеждать в их полезности.

Вклад его «Диалога» через преодоление прежних представлений обучаемого и последовательное движение его к научной истине, к мировоззрению вполне очевиден. Своей творческой деятельностью Галилей дает нам пример формирования в себе тех важных качеств положительного восприятия научного знания, которые остаются полезными и сегодня.

Актуальность образа Галилея в том, что в нашем воображении он предстает как ученый и просветитель. В первой своей ипостаси он делал все, чтобы, служа образцом ученого-физика, заложить основы механики, во второй же — на личном примере пропаганды новой науки давал образцы то-



Изображение межпланетной станции «Galileo» (запущен NASA в октябре 1989 г., первый аппарат, вышедший на орбиту Юпитера) на фоне Юпитера и Ио — одного из четырех спутников, открытых Г.Галилеем. Национальный музей авиации и космонавтики Смитсоновского института, Вашингтон.

го, как успешно формировать основы научной культуры у общества.

Начавшееся в XVIII в. и продолжающееся по сей день увлечение отечественной науки и культуры творчеством Галилея — вот еще одно доказательство того, что учение этого гения заняло свое достойное место в науке, философии и образовании, а драма Галилея продолжает оставаться той проблемой нравственности, что актуальна и сегодня.

Вместе с тем на его примере история убеждает нас в значимости ученого, если наряду с занятиями наукой он активно ее популяризирует [14] с надеждой на то, что общество будет стремиться к овладению научным знанием и мышлением и в благодарность поддерживать саму научную деятельность как гарантию своего собственного прогресса. ■

## Литература

1. Лагранж Ж. Аналитическая механика. Т.1. М.; Л., 1950.
2. Галилео Галилей. Сб. статей. М.; Л., 1943.
3. Галилей Г. Избранные труды: В 2 т. М., 1964.
4. Собел Д. Дочь Галилея. СПб., 2006.
5. Ахутин А.В. История принципов физического эксперимента (от Античности до XVII в.). М., 1976.
6. Кузнецов Б.Г. Галилей. М., 1964.
7. Галилей Г. Пробирных дел мастер. М., 1987.
8. Фейнман Р. Радость познания. М., 2013.
9. Фок В.А. Принципы механики Галилея и теория Эйнштейна // Успехи физических наук. 1964. Т.83. №8. С.577—582.
10. Араго Ф. Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров. Т.1. Ижевск, 2000.
11. Щербаков Р.Н. Великие физики как педагоги: от научных исследований — к просвещению общества. М., 2008.
12. Декарт Р. Рассуждение о методе. М., 1953.
13. Баюк Д.А. Процесс Галилея, или Шествие по наклонной плоскости... // На рубежах познания Вселенной (Историко-астрономические исследования, XXIV). М., 1992. С.119—132.
14. Щербаков Р.Н. Заметки о научной культуре российского общества // Вестник РАН. 2012. №12. С. 1101—1107.

# Оляпка: Жизнь пернатого водолаза

В.А.Колбин,

кандидат биологических наук

ФГБУ Государственный природный заповедник «Вишерский»

Пермский край

Среди воробьинообразных (Passeriformes) — самого многочисленного отряда птиц — есть только одно семейство, представители которого приспособились добывать себе пропитание под водой. В семействе оляпковых (Cinclidae) всего один род и пять видов, два из которых обитают в России — обыкновенная (*Cinclus cinclus*) и бурая (*C.pallasii*) оляпки.

Обыкновенная оляпка размером со скворца, оперение — темно-бурое с чешуйчатым рисунком и белым овальным «передником». У ее сородичей, живущих на Британских островах и в Центральной Европе, красновато-коричневое оперение. Самцы и самки всех видов внешне не различаются. Молодые птицы окрашены в серо-бурые тона также с чешуйчатым рисунком. Телосложение пернатых водолазов коренастое, хвост короткий. Эту замечательную птицу в народе называют водяным дроздом или водяным воробьем, хотя к семейству воробьиных (Passeridae) оляпка никакого отношения не имеет.

Прерывистый ареал обыкновенной оляпки охватывает горные районы Европы, Северо-Западной Африки, Средней и Центральной Азии. В Сибирь вид проникает до Забайкалья. В уральских горах оляпка обитает по всему каменному поясу: от Южного Урала до Полярного. На востоке Евразии в горных речках и ручьях водных беспозвоночных ловит ближайший родственник нашего подводника — бурая оляпка, которая выглядит скромнее из-за отсутствия белых пятен.

Верховья уральской реки Вишеры, ее горные притоки и даже крупные ручьи, где я уже много лет работаю, невозможно представить без оляпки. Это своего рода знаковый вид девственной уральской природы. Ее голос — «дзип, дзип...» — непре-



Обыкновенная оляпка.

Здесь и далее фото автора

менно донесется до слуха, если отправиться вдоль любой чистой горной речки. Песня оляпки представляет собой смесь мелодичных журчащих трелей и свистов.

На уральских горных реках оляпка вполне обычна, а вот на равнинных встречается лишь в свирепые декабрьские и январские морозы у польней. Возле промоин оляпки зимуют и иногда собираются в таких местах небольшими группами.

Оляпки строго территориальны: часть реки или ручья, где проводят жизнь, неукоснительно охраняют от других птиц своего вида, причем гнездовые владения могут быть весьма обширными. Например, на девятикилометровом участке р.Малой Мойвы, расположенной в центральной части Вишерского заповедника, я насчитал всего пять семейных пар оляпок.

На Вишере оляпки обитают круглый год. Правда, летом они встречаются только в заповеднике, зимой же некоторые из них покидают его пределы и смещаются вниз по реке. Но как бы то ни было, это удивительная птица редка — слишком высокие требования она предъявляет к чистоте рек и ручьев. Да и лишнего беспокойства не любит.



Гнездо оляпки на отвесной скале. Птенцы еще недостаточно повзрослели, чтобы летать, поэтому на иждивении родителей.

Пернатый водолаз не встречается на равнинных реках, поскольку не желает нырять в стоячие водоемы или водотоки с медленным течением. Конечно, за «нежеланием» скрываются особенности биологии вида. Основные его кормовые объекты в мутной воде обнаружить сложно. «Кроме того, наш водолаз не намокает, поскольку у него плотное, густое оперение, смазанное жиром копчиковой железы. Вода постоянно выталкивает маленького ныряльщика на поверхность, поэтому он расправляет крылья так, чтобы течение прижимало его ко дну. Стоит сложить крылья, и оляпка оказывается на поверхности. На быстрине эта птица, как и любой иной обтекаемый водой предмет, оказывается как бы внутри серебристой водяной рубашки.

Места обитания оляпки удивительно живописны: прозрачные горные реки и ручьи, стремительные перепады, пороги, водопады. Выступающие среди кристальных водных струй валуны часто служат птицам местами отдыха или кормежки. От берегов они практически не удаляются. Гнездовой материал (мох, траву, водоросли, коренья) оляпки легко находят возле реки.

Оляпки селятся обычно над водой: в скальных нишах, среди камней, на обрывистых берегах, в корнях деревьев. Гнездо представляет собой массивную шаровидную конструкцию с боковым входом. Для внутренней выстилки используются шерсть, листья. В кладке, как правило, пять белых яиц, которые насиживает самка. Самец кормит самку, а по свидетельству некоторых исследователей, даже подменяет ее при насиживании. Птенцов кормят оба родителя.

Длительные наблюдения гнездовой жизни оляпок мне посчастливилось проводить дважды. Один раз гнездо, напоминающее моховую кочку, располагалось в застрявшей на речной отмели коряге, в другом случае было «прилеплено» к почти отвесной скале. Со времени вылупления прошло больше двух недель, и птенцы уже оперились, но нависающих над водным потоком гнезд не покидали. В отличие от большинства воробьинообразных, оляпки сидят в гнезде долго (20—27 дней). Они должны повзрослеть и окрепнуть, чтобы сразу научиться не только летать, но еще и плавать. К тому же вода в горных ручьях теплой не бывает.



С добычей.

Оляпки кормятся различными водными беспозвоночными, за которыми они ныряют или собирают по берегам. Добычей становятся личинки поденок, ручейников и другие водные насекомые. Кроме того, удивительные птицы могут есть икру и мальков рыб, различных ракообразных, мелких моллюсков [1—3].

Родители кормят птенцов нечасто (иногда между появлениями в гнезде проходит до получаса), хотя случается, что они навещают своих отпрысков каждые две-три минуты, но надолго не задерживаются — кормление длится всего пару секунд.

В 2012 г., просидев два дня возле гнезда на коряге, я так и не дождался вылета слетков, хотя, по моим подсчетам, птенцам было уже не менее 20 дней от роду. На следующий год, после двух дней, проведенных возле гнезда на скале, я решил сделать перерыв в наблюдениях для проведения учетов птиц в другом месте, а потом вернуться. Очень хотелось увидеть начало послегнездовой жизни юных оляпок. Через пять дней, вновь появившись напротив знакомой скалы, я сначала увидел взрослую птицу, сидевшую на камне посреди бурного потока, а уже потом — сероватого

слетка, который солидно произносил «дзип-дзип», как и его родители. Слеток сидел прямо на берегу возле меня. От гнезда сюда он мог только прилететь, преодолев около 20 м над потоком, или приплыть, что казалось совсем невероятным. Подросток посмотрел на меня с недоверием и нырнул. Через пару минут он появился на камне посреди русла, где несколько дней назад имел обыкновение присаживаться один из его родителей, прежде чем отправиться к гнезду с порцией корма. Я спрятался в укрытии, а слеток сидел на камне, непрерывно приседал, искал что-то съедобное на нем, и временами ему кое-что попадалось. Но в основном подросток по-прежнему надеялся на родителей. Два раза к нему прилетал кто-то из взрослых и кормил. Видимо, это последний птенец, поскольку других слетков не было видно. Вероятно, взрослые птицы увели их в другое место.

Вскоре подросток перестал маячить на камне, перелетел на берег и скрылся под камнем — видимо, насытился и настало время отдыха, а может быть, родители заметили мое присутствие. Как известно, взрослые птицы всех видов подают своим

птенцам сигнал тревоги, и те за- таиваются. Но в данном случае взрослых птиц поблизости не было. Я не стал ждать завершения «тихого часа» и отправился вверх по реке. В двухстах метрах выше по течению на глаза попала взрослая оляпка, которая спала на камне.

На следующий день знакомого слетка я уже не смог найти, да это и немудрено, с таким-то умением прятаться под камнями. Недалеко от уже опустевшего гнезда мелькнула взрослая птица, нырнула в береговую траву и ушла вверх по течению крошечного ручейка, впадающего в Малую Мойву. Вероятно, там под присмотром родителя оттачивали мастерство ловли водных беспозвоночных все его отпрыски. Я решил не беспокоить птиц.

Оляпки на Вишере ведут преимущественно оседлый образ жизни, но им необходима открытая вода, поэтому с ледоставом птицы перекочевывают в те места, где сохраняются в течение всей зимы крупные полыньи. Чрезмерная перенаселенность птиц не устраивает, и они смещаются вниз по реке.

На исходе зимы я обычно провожу учеты птиц и не упускаю возможности посмотреть, как течет зимняя жизнь оляпок.

В самом начале Свининского плеса, который раскинулся вблизи южной границы Вишерского заповедника, каждый год образуется обширная полынья, где неизменно собираются оляпки. Я доставил свое снаряжение в избушку на кордоне «Круглая ямка» за несколько ходок на лыжах, в течение двух с половиной дней. Снега было много, и даже по льду реки невозможно за один раз утащить тяжелые сани волокуши. Когда я проходил мимо промоины, то с удовольствием отмечал, что оляпки на месте. К тому же возле них с какими-то неясными целями вертелись кедровки.

Нужно было поставить штатив и превратиться в сугроб с объективом, чтобы стать незаметным. Утром первого относительно погожего дня я во всеоружии сидел возле полыньи. В радиусе действия моей оптики была одна птица. Вдоль плеса, как обычно, дул ветер, и через десять минут не-



Слеток на камне посреди бурлящей воды. Летать и нырять он научился, но родители продолжают его подкармливать.

подвижного сидения я начал подмерзать. А маленькой птичке, сидевшей на льдине и временами дремавшей, по всем признакам, было совершенно комфортно. Потом, видимо, проголодавшись, она нырнула на несколько секунд и вскоре появилась на поверхности уже с добычей в клюве, вспорхнула на лед и с удовольствием ее проглотила.

Но счастье не бывает долгим. Вечно появляются завистники и нахлебники. С береговых елок за оляпкой наблюдали кедровки (*Nucifraga caryocatactes*). Сначала их, похоже, смущало мое присутствие, но потом они осмелели. На льду возле ма-



Кедровка, нападающая на оляпку, которая тут же скрылась от грабителя под водой.



ленького подводного охотника появилась одна кедровка, потом другая. И когда пернатый водолаз снова появился с добычей, перекусить ему не дали. Кедровка прыгнула на оляпку, и та отлетела, выронив добычу, с которой разбойница мгновенно расправилась. Потом кедровка продолжила ходить по льду, изучая остатки трапезы «водяного воробья» в поисках чего-нибудь съедобного. К тому моменту я уже окончательно замерз, и вдобавок пошел снег. В предыдущий год местом наблюдения за оляпками была другая полынья, в двадцати километрах ниже Свиного плеса, тогда никаких проблем с кедровками у моих подопечных не было.

На следующий день я снова просидел возле полыньи сколько смог. В длину промоина тянулась вдоль реки на триста метров, и на льду возле нее жило пять оляпок, а вот кедровок в этом месте вертелось порядка тридцати. Оляпки улетали от грабителей на другой берег, подолгу плавали, видимо, пытаясь проглотить добычу прямо в воде. Крапчатые рэкетеры грабили оляпок не всегда, и пернатые водолазы, вероятно, мирились с временными неприятностями. Деваться им было некуда, до следующей полыньи лететь больше 10 км, да и кедровки этой зимой были везде. Раньше ни-



каких сведений о таком зловередном поведении кедровок — главных сеятелей кедра — мне в научной литературе не встречалось.

Иногда, когда начинало светить солнце, слух улавливал песню оляпки. Весна уже была не за горами. Может быть, на следующий год откроются новые секреты жизни этих удивительных птиц. ■

## Литература

1. Птицы Советского Союза / Ред. Г.П.Дементьева и Н.А.Гладкова. М., 1954. Т.6.
2. Рябицев В.К. Птицы Урала, Приуралья и Западной Сибири: Справочник-определитель. Екатеринбург, 2008.
3. Озерская Т.П., Забелин В.И., Заика В.В. Питание оляпки обыкновенной в зимний период на водоемах Кызыла // Труды заповедника «Тигирекский». Вып.1. 2005. С.330—330.

# Естественная история и история Отечества

К.Г.Михайлов,

кандидат биологических наук

Зоологический музей Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

Трудно писать рецензию, будучи редактором книги. Очень хорошо вижу недочеты, получил уже мелкие замечания от коллег — зоологов и историков науки. Но личность Виктора Ивановича Мочульского столь притягательна и при этом столь малоизвестна, что дать информацию о книге считаю своим долгом.

В среде энтомологов ходят байки о том, как Мочульский — выдающийся специалист по систематике жуков и заядлый коллекционер — воровал жуков из известных коллекций и ругался с европейскими коллегами. Характер у него был трудный. Не зря Вальтер Хорн прозвал его «инфернальным энтомологом».

В книге, наполовину составленной из воспоминаний, написанных по-русски и по-немецки, наполовину — из переводов статей Виктора Ивановича, вышедших в 1850—1860-х годах в основном на французском языке, причудливо переплетаются история и естественная история. Но пропорции разные: первая часть книги — это в первую очередь история, а вторая — скорее естественная история. (Напомню, что термин *биология* был уже предложен, но вплоть до конца 19-го столетия широко не использовался.) В конце книги помещен биографический очерк (в переводе с немецкого языка), очень страстно написанный Хорном уже в 1920-х годах.

Мочульский родился в 1810 г. Будучи человеком военным, он

участвовал в подавлении Польского восстания, был контужен и навсегда оглох на левое ухо, затем служил на Кавказе, в «Киргизской степи», в Восточной Сибири, в Оренбурге. Его воспоминания обрываются 1841 годом, затем идут рассказы об энтомологических экскурсиях в окрестностях Петербурга, а также о поездках по Европе и в Америку в 1852—1855 гг. Период с 1841 по 1851 г. и с 1856 г. пропущен, в рукописи сохранились только названия предполагавшихся глав: «Военная служба в Чугуеве», «Путешествие в Крым», «Путешествие за границу. Египет», «Париж. Лондон. Далмация [Далмация]. Монтенегро», «Мои изыскания о проточении свинцовых пуль французской армии в Крыму личинкой *Urocerus juvenicus*» и т.д. В 1863 г. Виктор Иванович окончательно переехал жить в Крым, в последние годы жизни тяжело болел и скончался в 1871 г.

Читая воспоминания, поражаешься широте кругозора автора, его честности и патриотизму. Мочульский — непосредственный участник таких событий, как подавление Польского восстания 1830—1831 гг., покорения Кавказа и Средней Азии, наблюдал страшное наводнение в Кронштадте в ноябре 1824 г. Восстание декабристов пришлось на годы его юности, а Отечественная война 1812 г. — на годы младенчества. Все эти и даже более ранние события так или иначе отражены в воспоминаниях. Многие исторические факты и трактовки в книге поданы неординарно. По Мочульско-



ПРИКЛЮЧЕНИЕ ЖИЗНИ  
ВИКТОРА ИВАНОВИЧА  
МОЧУЛЬСКОГО / Сост. В.А.Криво-  
вохатский.

М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 261 с.

© Михайлов К.Г., 2014



му выходит, что «Императрица Екатерина II тоже была убита: фрейлина Перекусихина подала ей отравленный шоколад» (с.20). Чуть дальше — история о человеке, выдававшем себя за убитого императора Павла (с.21 и повтор на с.164). В середине книги мы видим авторитетное подтверждение фактического убийства графа Аракчеева, присвоившего бланковые подписи покойного императора Александра I и подделавшего 13 его указов... (с.105). Эта потрясающая «история» рассказана Мочульскому лично графом П.А.Клейнмихелем и вводится в научный оборот впервые. Масса небольших историй разбросана по всему тексту воспоминаний.

Виктор Иванович, надо отдать ему должное, трезво оценивает способности тогдашней царской администрации. «Император Николай любил исключительно военных, представители же других профессий были вынуждены довольствоваться задним планом» (с.23). «И, так как все должны служить и все молодые люди подготавливаются обществом исключительно к службе, свободное развитие их талантов сдерживается. Это большое несчастье для государства, ведь из-за такой службы помещики ослабевают, имения забрасываются хозяевами и приходят в упадок, семьи нищают, торговля прозябает, выживая только в крупных городах, и страна беднеет» (с.23). А вот описание безграмотного руководства Польской кампанией, вот — происков и воровства на Кавказе... Можно подумать, что принципы и методы управления Российским государством несильно изменились со времен Николая I.

Судя по всему, служебная карьера Мочульского была не слишком успешна, да он и не стремился к этому. «Во мне воспитали, с одной стороны, резкое неприятие всего противозаконного, а с другой — искренность, против которой я никогда не мог грешить и из-за которой, при моем вспыльчивом характе-

ре, часто попадал в сложные положения» (с.18). Например: «...буйный характер дважды послужил причиной моего понижения в степени: в первый раз я назвал нашего учителя французского мерзавцем, в другой — не смог сдержать смеха при виде одного сумасшедшего дежурного офицера» (с.22). Будучи на Кавказе, Виктор Иванович написал «наверх» удачную докладную записку по персидскому и афганскому вопросам, его заметили и хотели отправить с миссией в Персию, но все сорвалось по причине нездоровья, и ему разрешили отпуск «в заграничье», хотя в то время зарубежные поездки не особо приветствовались. По возвращении в 1836 г. Мочульскому предлагали остаться служить в Петербурге, но он предпочел вернуться на Кавказ. Однако, несмотря на героические поступки и уважение начальства, там его «подсидели». А позднее, уже после работы в «Киргизской степи» и Восточной Сибири, с ним случилось вот что. Мочульский рассказывает: «Я хотел определиться в дипломатический корпус, желая быть полезным моими сведениями о востоке, но Министерство иностранных дел... затрудняло исполнение этого желания, протягивая дело много месяцев под разными натянутыми причинами... наскучившись терпением, я решил принять место особых поручений при Комитете и комиссии постройки Московской железной дороги... все, что я собирал и изучал в течение многих лет, осталось бесплодным деревом» (с. 169). И горькое резюме: «Ведь в этой стране образованный, благородный человек может найти лишь немного способов достойно зарабатывать на жизнь» (с.22).

Везучесть и личная отвага, даже некоторая бесшабашность Мочульского удивляют. Вот эпизод из Польской кампании: «Под моей лошадью взорвалась граната, отчего я взлетел высоко в воздух, но ранен не был. Саму же лошадь лишь легко контузило

осколком. Так как мы не ели ничего уже два дня, один из моих казаков принес мне из лагеря в котелке говядину. Я с товарищами отъехал назад, чтобы отвезти наше лакомство, не подвергаясь опасности быть застреленным. Мы сошли с лошадей, поставили котелок на землю и сели на траву, нетерпеливо ожидая возможности вкусить бифштекса. Я потянулся вилкой за одним из кусков, но тут нас внезапно накрыло облако пыли, и мы потеряли сознание. Котелок и вилка исчезли — на них упало срикошетившее ядро. Наша еда была мельчайшими кусочками разбросана во все стороны. Очевидно, мы выбрали неудачное место для трапезы» (с.40). А вот Швейцарские Альпы: «При переходе через снеговые горы Аппенцелля нам пришлось идти по самым узким тропинкам, где таявший от июньской жары снег нередко выпадал из-под ног; на одном месте мы... заскользили вниз по покатоности горы; я упал на спину и с ужаснейшей быстротой съезжал вниз, но, не теряя присутствия [духа], старался окованной железной палкой, которую каждый путешественник имеет, удержаться, что мне и удалось саженях в двух от края пропасти... в другой раз местность, на которой я поскользнулся, была еще круче, меня несло с такой быстротой, что я уже ничего не видел, и все перед глазами казалось черно, вдруг — ужасный толчок по всему телу, и я остановился, ноги уперлись в камни и льдины, образовавшиеся на краю пропасти от ходивших тут осенью коз — на несколько четвертей только от провала саженей в 40 глубиной» (с.86).

Описания природы и людей изобилуют меткими характеристиками. Тут и кавказские минеральные воды, и легендарный силач князь Севардзелидзе, и тифлиские базары, и нравы грузин, и разливы нефти в Дагестане, и кавказские высокогорья, и шакалы, которые утащили смазанные салом сапоги Виктора Ивановича, когда он

спал под открытым небом, спасаясь от нашествия блох в помещении.

Во время ранних путешествий Мочульского нефть находила еще мало применения. «Когда в [18]20-х годах около острова Сары в Каспийском море образовался новый остров и г-н Менетрие [известный естествоиспытатель из Санкт-Петербурга — К.М.] на лодке отправился осмотреть его, кто-то из матросов неосторожно закурил трубку, упала искра и остров загорелся. Менетрие и люди едва спаслись на лодке, но новая беда, на море плавала нефть, которая [тоже] загорелась, и они едва успели уйти, отгребаясь со всех сил» (с.64). Описывая Астрахань и окрестности, Виктор Иванович справедливо замечает: «Одно добывание нефти по островам и побережиям Каспийского моря могло бы составить весьма важный предмет торговли, если бы горное масло было принято для освещения домов и улиц, где оно вполне может заменить газ, а подавно простое масло» (с.147).

В заграничных путешествиях Мочульский интересовался не только жуками. Его привлекают музеи, архитектура (соборы, памятники, гробницы), даже дом-музей известного тирольского партизана, борца с наполеоновским нашествием Андреаса Хоффера, где сохранились его собственные штаны, от которых туристы отрывают кусочки «на память» (с.90, 91).

Виктор Иванович не чужд экономическим рассуждениям, беспокоится о рачительном хозяйстве. Вот что он пишет про астраханские рыбные промыслы. «Другой предмет есть усиление рыбных промыслов, но для этого нужно очистить засорившиеся устья Волги, чтобы рыба могла входить из моря в реку, что в настоящем состоянии затруднительно и даже невозможно. Во время шествия рыбы очень часто можно видеть, как большие осетры и белуга заняты на мели, а оттуда освобо-

диться не могут, потому неудивительно, что многие возвращаются в море и ищут себе устья других рек для удовлетворения природой назначенного им порядка. При этом не излишне было бы обратить внимание на то, чтобы рыбаки вытягиваемую ими мелкую рыбу, в торговлю не идущую, не выбрасывали на берег, как это делается теперь, а пускали обратно в море и тем сохраняли молодую рыбу. В настоящее же время около плотов и ватаг, где ловится рыба, верст на 10 слышен отвратительный запах от миллиона гниющей рыбы, которая гибнет без всякой пользы» (с.147).

Но главная страсть Мочульского — это, конечно же, жуки, в меньшей степени другие насекомые. Он коллекционировал их при каждом удобном случае. И на Кавказе, и в окрестностях Петербурга, и в Америке. Пойманных жуков буквально распикировал по карманам (в коробочках от пилюль), а потом высыпал на клеевые пластинки (листы бумаги с нанесенным слоем гуммиарабика), которые разрезал на нужные куски, и сажал на энтомологические булавки. Эти удивительные пластинки до сих пор сохранились в собранной им коллекции жуков. Коллекция Мочульского после его кончины была завещана Московскому обществу испытателей природы, там была заброшена, но вновь найдена уже в начале XX в. и ныне хранится в нашем Зоологическом музее; она частично переизучена, многие жуки переописаны на современном уровне. А вот коробки с некоторыми другими насекомыми, многоножками и ракообразными сохранились очень плохо — они пострадали от злейшего врага энтомологов — личинок жуков-кожеедов. А небольшая коллекция пауков и вовсе утеряна.

Именно жуки спасли жизнь Виктору Ивановичу, когда на Кавказе в 1838 г. он в образе глухонемого был направлен в разведку вместе с несколькими верными русскому правительству

местными жителями и попал в плен к горцам. Причиной «провала» стал башлык Мочульского, шов на котором был сделан шелком («как в Тифлисе»), а не шерстью, как в горах. «Внезапно на нас бросились горцы, отняли лошадей и оружие и всякого из нас посадили в отдельную хату под стражу» (с.135). «С первой минуты поняв всю опасность моего положения, я не упустил из виду приобрести и со своей стороны друзей, и первым из них должна была быть эта женщина [жена горца, которой было поручено сторожить Мочульского — К.М.]. Так как время ужина приближалось, то я ей помогал в приготовлении одного, поправляя огонь, запекая лепешки и подобными мелочными услугами; само собой разумеется, все на манер горский, и в это время сунул в огонь находившийся у меня в кармане карандаш, за который, если бы был найден моими врагами, я без сомнения заплатил бы головой» (с.136). Потом пленника вывели на площадку между скалами и пропашью для очной ставки, надеясь, что он заговорит со своими спутниками и тем самым себя выдаст. «Зная весьма хорошо, что неприятели наши за нами следят, я остался верным моей роли, и, не обращая внимания на моих спутников, развалился на земле и стал играть камешками, кладя их в рот и выплевывая в пропашь; а между тем я рвал в клочки находившиеся у меня в кармане пол-листа бумаги и эти клочки жевал и глотал. Так сбыв я и этого опасного обличителя, на котором были написаны некоторые мои путевые замечания. <...> Горцы явились и осмотрели мои карманы, где нашли только несколько раздавленных насекомых, которых я собрал дорогой, находка которых произвела общий хохот, и которых они весьма тщательно положили опять в карман» (там же).

Несколько особняком в книге стоит глава «1833. Литва. Магнетизм», где Мочульский — на при-

мере своей кузины Луизы — столкнулся с проявлением магнетизма, или лунатизма. Похоже, это явление — равно как и молодость кузины, на которой он собирался по ее выздоровлении жениться — сильно привлекло нашего исследователя. Но женитьба — скорее всего, по причине многочисленных командировок Виктора Ивановича и его растущего увлечения жуками — не состоялась, глава осталась недописанной, она обрывается буквально на полуслове.

Рукопись воспоминаний была снабжена рядом иллюстраций — пейзажами, рисунками жуков и других членистоногих, из которых сохранились, к сожалению, далеко не все. То, что удалось разыскать, приведено в книге. Некоторые особенности языка Мочульского надо запомнить, чтобы не путаться. Например, «хищниками» он именует разбойников, «лохмотниками» — нищих.

В предисловии составителя книги личность Мочульского сравнивается с Паганелем. Но этот персонаж романа «Дети капитана Гранта», географ-естествоиспытатель, не столь близок по духу нашему герою, как кузен Бенедикт — настоящий энтомолог — герой того же Жюль Верна из романа «Пятнадцатилетний капитан».

Несмотря на длительную, даже затянувшуюся подготовку, книга все-таки осталась недостаточно вычитанной, встречаются досадные опечатки. Явно не хватает справочного аппарата: сносок, именного указателя, да и указателя латинских названий. Вот Мочульский пишет, что в Байкале водится «замечательная рыба величиною с ерша, с огромной головой, и которой все тело состоит из жира» (с.167). Комментарий отсутствует. Между тем, как считает Ю.В.Чайковский, речь идет о рыбе-голомянке. Многие име-

на и географические названия даны у Мочульского в нескольких вариантах написания, что затрудняет чтение книги. Латинские названия, к сожалению, указаны довольно неряшливо.

Трудно словами рецензии передать мой восторг и восхищение от этой замечательной книги. Русский язык автора превосходен, хотя и несколько старомоден, взгляды почти современны... Очень рекомендую всем прочитать эту книгу.

Далеко не все материалы биографии Виктора Ивановича удалось ввести в научный оборот. Надо еще поработать в военных архивах, поискать его личное дело, докладную записку по восточному вопросу. Насколько мне известно, в различных «гражданских» архивах Москвы и Санкт-Петербурга хранится и деловая переписка Мочульского. Но академическая биография нашего персонажа — дело будущего. ■

## Зоология

Определитель рыб и беспозвоночных Каспийского моря. Т.1. Рыбы и моллюски / Н.Г.Богущая, П.В.Кияшко, А.М.Насека, М.И.Орлова. СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. 543 с.



Первый том из серии определителей фауны Каспийского моря открывает физико-географический обзор. Далее дан очерк геологической истории, в котором подчеркнута уникальная специфика Каспия — изменчивый уровень моря, сложные, динамически меняющиеся дельты впадающих рек и береговая линия, а также связь с Черным морем. Общую часть завершает глава, посвященная истории зоологических и промысловых исследований (доведена до 1940 г.). Основное содержание составляют иллюстрированные определительные таблицы всех родов рыб и морских двустворчатых моллюсков, сопровождаемые информацией по таксономии, морфологии и распространению семейств, родов и видов, а также обзором их промыслового или ресурсного значения и роли в экосистемах. Особое внимание авторы уделили выявлению исторических путей и основных периодов формирования фауны, в том числе — современному, во время которого произошло обогащение фауны моря пришлыми видами. Материалом для книги послужили обширные коллекции Зоологического института РАН. В приложениях приведены толковый словарь терминов (для понимания текстов из области морфологии, общей зоологии, таксономии и изучения инвазий) и статья К.В.Литвинова и С.А.Подольяко «Видовой состав и состояние ихтиофауны низовьев дельты Волги в 2006—2011 гг. в пределах Астраханского государственного природного заповедника».

## Археология

РУСЬ В IX—X ВЕКАХ: АРХЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПАНОРАМА / Отв. ред. Н.А.Макаров. М.; Вологда: Древности Севера, 2012. 496 с.

Эта книга — попытка осветить современное состояние изучения основных центров ранней Руси и происходивших в IX—X вв. процессов интеграции их в единую политическую систему. Авторы рассматривают развитие главных очагов расселения и центров политической власти между Средним Поднепровьем и Волховом в период от первого появления этнонима русь в средневековых текстах до конца княжения Владимира Святославича, когда формирование территории нового государства в основном завершилось.

Задача книги — представить целостный взгляд на историческую картину того времени, синтезируя результаты исследований историков и археологов, но отталкиваясь в большей мере от археологических реалий. Древности, найденные археологами, выступают в данном случае не в качестве фона, а в качестве основы для реконструкции исторического действия.

Интерес к ранней Руси основывается на стремлении получить ясные ответы на старые вопросы о происхождении государства Русь, обстоятельствах его появления на исторической сцене, о народах, создавших его, об истоках своеобразия его культуры. В неменьшей степени это интерес к историческим реалиям первых столетий русской истории, ее конкретным звеньям, повседневности, так сказать, историческому быту.

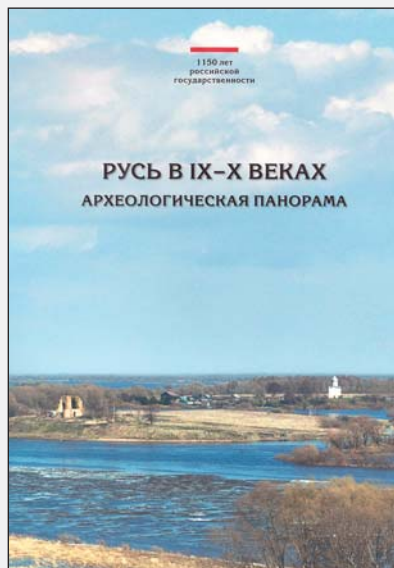
Настоящее издание — это серия археологических очерков, посвященных древностям отдельных областей и раннегородских центров, составлявших основной каркас формирующейся Руси IX—X вв. Основной раздел предваряется вступительной частью, в которой представлен систематический обзор письменных свидетельств о ранней Руси, рассмотрена история создания главного летописного свода — «Повести временных лет». Дана также общая характеристика археологических материалов конца 1-го тыс. н.э. как источника информации об исторической ситуации того времени. Ядро книги составляют обзорные статьи, суммирующие результаты археологического исследования различных регионов и раннегородских поселений, что и побудило составителей вынести слова «археологическая панорама» в ее заглавие.

В заключительной части подводятся итоги изучения таких категорий древностей, как первые древнерусские монеты и княжеские знаки. Появление собственного чекана и символов власти — очевидные признаки сложения государственных институтов.

В издании результаты изучения письменных источников и археологических древностей представлены раздельно. Оставаясь в строгих границах своей профессиональной компетенции, археологи не выступают в этой книге в качестве толкователей летописных текстов, а историки и филологи не ищут в археологических материалах аргументов в пользу тех или иных прочтений письменных источников. На сегодняшнем этапе исследования такой подход кажется полезным, так как позволяет разделить надежно установленные факты и созданные усилиями историков и археологов образы прошлого, достоверность которых не может быть строго доказана.

Авторы издания представляют разные научные учреждения (академические институты, музеи и университетские центры) Москвы, Санкт-Петербурга, Киева и Пскова и принадлежат к различным научным школам. Но они видели свою задачу не в том, чтобы предложить одно, единственно верное, объяснение археологической картины, а, скорее, в том, чтобы изложить комплекс археологических фактов, предоставив читателю возможность самому оценить обоснованность различных версий ее объяснения.

Книга насыщена иллюстрациями, воспроизводящими разные составляющие исторической среды IX—X вв.: от средневековых ландшафтов и элементов застройки поселений до бытовых вещей и украшений костюма. Источником многих фотографий стали коллекции Государственного исторического музея и Государственного Эрмитажа, архивные материалы Института археологии РАН и Института истории материальной культуры РАН, а также находки, сделанные в самое последнее время.



# Как «ослеп» Гомер

В конце Гомера

А.М.Портнов,

доктор геолого-минералогических наук

Московский государственный геолого-разведочный университет им.С.Орджоникидзе

Исследователи творчества А.С.Пушкина потратили немало труда, прежде чем расшифровали найденное в рукописях поэта и тщательно зачеркнутое им двестише:

*Крив был Гнедич поэт, преложитель слепого Гомера,  
Боком одним с образцом схож и его перевод.*

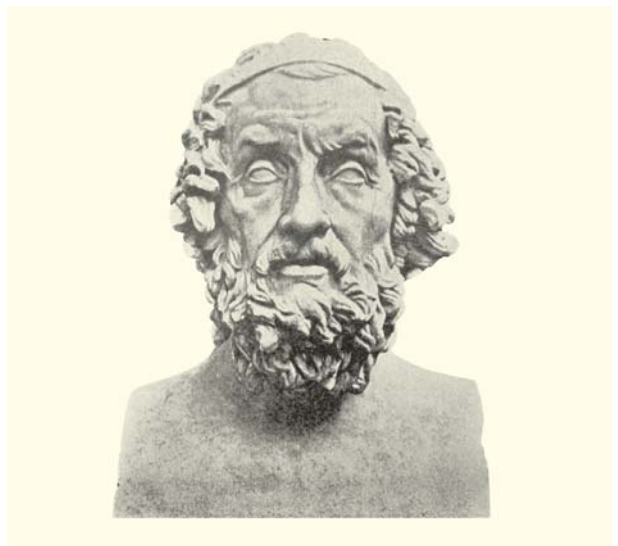
Пушкин язвительно подшутил над Н.И.Гнедичем, взявшим на себя величайший и никем более в России не повторенный труд — перевод «Илиады» с древнегреческого на русский язык. Гнедич работал над переводом 20 лет — с 1809 по 1829 г.! Этот труд продолжил В.А.Жуковский, создавший в Дюссельдорфе перевод (с немецкого подстрочника) «Одиссеи» за семь лет — с 1842 по 1849 г. Понимая, что даже шуточная эпитафия будет несправедлива, Пушкин никому ее не показал и старательно замазал. Она известна только потому, что от исследователей-пушкинистов невозможно скрыться даже Пушкину.

Но о слепом Гомере он написал вполне искренне, поскольку еще со времен Лицея помнил (как и все мы из школьного учебника древней истории) прекрасный бюст слепого поэта, созданный в Александрии в эпоху эллинизма, во II в. до н.э., через 6—7 столетий после смерти Гомера.

Конечно, скульптор не знал, как выглядел великий поэт в действительности. Но почему он решил, что Гомер был незрячим? Ведь слепота — величайшее несчастье. Она лишает человека знания о бесконечном разнообразии форм и цветов мира! Давайте задумаемся, смогли бы реализовать свой талант Шекспир, Байрон, Пушкин, если бы они родились слепыми?.. Могут ли слепцы создавать великие литературные произведения, поражающие читателя особо зоркой наблюдательностью и изощренной многоцветностью художественной палитры?

## Античные «кинохроники»

До нашего времени дошли две поэмы Гомера общим объемом более 50 печатных листов. Они позволили миллиардам читателей всех времен и народов оценить по достоинству замечательные особенности творчества древнего поэта, в числе которых — удивительная точность описаний, об-



Общеизвестный бюст слепого Гомера — копия со знаменитой статуи обожествленного поэта, стоявшей в храме Гомера в Александрии. Статуя была создана по приказу Птолемея IV в конце III в. до н.э. Высочайшее мастерство скульпторов эпохи эллинизма заставило забыть все более древние изображения, бюст разошелся в многочисленных копиях по всему античному миру и стал основой мифа о «слепом Гомере».

разность, живость и яркость сцен. Но еще сильнее поражают постоянные крупные и мелкие планы, замечательные пейзажные зарисовки и разноцветность картин, проходящих в поэмах бесконечной чередой. Разве может слепец сказать:

*Солнце тем временем село, и все потемнели дороги...*

или заметить, как

*...от широкого веяла, сытлесь по гладкому току,  
Черные скачут бобы иль зеленые зерна гороха...*

(Ил., песнь 13, 588—589)\*

Разве способен незрячий передать мгновенный взгляд пловца, взлетевшего на гребень высокой волны:

*Поднятый кверху волной*

*и взглянувши быстро вперед,*

*Невадали пред собою увидел он землю...*

(Од., песнь 5, 392—393)

\* Здесь и далее цит. по: Гомер. Илиада / Пер. Н.И.Гнедича. Л., 1990; Гомер. Одиссея / Пер. В.А.Жуковского. М., 1959.

Действительно, это ощущение знакомо всем, кто плавал в штормящем море, оно длится всего лишь мгновение, но Гомер передал его с предельной точностью. А как объяснить словно бы вставленные в рамку детальнейшие пейзажи:

*В зимнюю пору, когда громовержец Кронион восходит  
С неба снежить человекам,*

*являя могущества стрелы:*

*Ветры все успокоивши, сыплет он снег непрерывный,  
Гор высочайших главы и утесов верхи покрывая,  
И цветущие степи, и тучные пахарей нивы;  
Сыплется снег на берега и на пристани моря седого,  
Волны его, набежав, поглощают...*

(Ил., песнь 12, 279—285)

Гомер дает верное описание узкого Мессинского пролива, отделяющего Сицилию от Апеннинского п-ова. В этом проливе шириной всего 3 км направления быстрых приливных течений меняются четыре раза в сутки. Поэт описывает прибрежные скалы как жилища чудовищ — Сциллы и Харибды:

*...Сцилла грозила с одной стороны, а с другой пожирала  
Жадно Харибда соленую влагу: когда извергались  
Воды из чрева ее, как в котле, на огне раскаленном,  
Со свистом кипели они, клокоча и бурвясь; и пена  
Вихрем взлетала на обе вершины утесов. Когда же  
Волны соленого моря обратно глотала Харибда,  
Внутренность вся открывалась ее: перед зевом ужасно  
Волны шибались, а в недрах утробы открыто кипели  
Тина и черный песок.*

(Од., песнь 12, 235—243)

Почему песок в воронке Харибды черный? Ведь черный цвет песка — большая редкость! Как ни странно, это не поэтическая метафора. Описание Гомера безукоризненно точно и соответствует наблюдательности геолога. Действительно, здешний вулкан Этна выбрасывает лаву и пепел, которые, разрушаясь, дают массу черного песка, состоящего из железной руды — магнетита. Возникает редкое геологическое явление: в прибрежных водоворотах Мессинского пролива пенный водно-воздушный вихрь действительно крутит на дне воронки тяжелый черный песок.

Исследователи Гомера не обращали внимания на тот поразительный факт, что знаменитый греческий географ Страбон, живший на рубеже старой и новой эры, считал основоположником географии... Гомера и в своей «Географии» ссылался на его поэмы 130 раз! Страбон много путешествовал и мог сравнить свои наблюдения с описаниями Гомера. Однако он пришел к выводу, что древний поэт лично видел больше него и сумел собрать такие сведения о дальних странах, которые многим поколениям ученых, включая самого Страбона, узнать не удалось. Это значит, что Гомер был не только поэтом, но и великим путешественником, наблюдателем с острым взглядом и удивительной памятью.

А вот наблюдение, сделанное, можно сказать, под увеличительным стеклом:

*Если полита из ложа ветвистого силою вырвешь,  
Множество крупинок камня к его прилепляется  
ножкам...*

(Од., песнь 5, 432—433)

В современной минералогии используется термин «жирный блеск». Он характерен, в частности, для полированного известняка. Студентов-геологов долго учат распознавать этот специфический признак. Но Гомер его заметил 3 тыс. лет назад! Вот как выглядит у него описание сидений, изготовленных из белого греческого известняка и отполированных античными задами:

*...он сел на обтесанных, гладких, широких  
Камнях, у двери высокой служивших седалищем; белых,  
Ярко сиявших, как будто помазанных маслом...*

(Од., песнь 3, 406—408)

Наконец, у Гомера можно найти «кадры документальной кинохроники», передающие такие ужасные детали кровопролитной битвы, что от них у зрителей волосы поднимутся от ужаса:

*С громом упал он,  
копье упавшему в сердце воткнулось,  
Сердце его, трепеща, потрясло и копейное древко...*

(Ил., песнь 13, 442—443)

Описать, как колеблется торчащее из тела копье в ритме проколотого им умирающего сердца, — за всю историю поэзии на такое оказался способным один лишь великий Гомер. Но для этого он просто должен был видеть!

## Гомер описал китайский шелк?

Историки считают, что Великий шелковый путь начал действовать только в конце II в. до н.э. До этого времени никаких сведений о Китае у античных географов не было. Однако Гомер в «Одиссее» подробно и точно рассказывает о... китайском шелке! К Пенелопе под видом странника приходит сам Одиссей и утверждает, что он встречался с ее пропавшим мужем. Недоверчивая Пенелопа спрашивает: «Какое в то время носил он платье?». И Одиссей отвечает:

*...Хитон, я заметил, носил он из чудной  
Ткани, как пленка, с головки сушеного снятая лука,  
Тонкой и светлой, как яркое солнце; все женщины, видя  
Эту чудесную ткань, удивлялись ей несказанно.  
Я же — заметь ты — не ведаю, где он такую одежду  
Взял? Надевал ли уж дома ее до отбытия в Трою?  
В дар ли ее получил от кого из своих при отъезде?  
Взял ли в подарок прощальный, как гость?..*

(Од., песнь 19, 230—239)

Совершенно очевидно, что Гомер с поразительной точностью описывает китайский шелк —

тончайшую ткань, вырабатываемую только в Китае. Ее в те времена, да и сейчас, можно сравнить лишь с золотистой пленкой луковичной головки. На фоне грубых домотканых тканей из овечьей шерсти — одеждой древних греков — переливающийся на солнце шелк, безусловно, производил на окружающих примерно такое же впечатление, как в наше время — фантастическая серебристая ткань костюмов инопланетян, о которых рассказывают «контакторы».

Текст Гомера с упоминанием китайского шелка свидетельствует о древнейших торговых путях, впоследствии забытых купцами, народами и странами. Но слепец никогда бы не описал неведомую диковинку с такой цветной фотографической точностью!

### Седое железо

Действительно, цвет буквально брызжет со страниц «Илиады» и «Одиссеи». У каждого героя поэм своя цветовая гамма: Зевс — чернобровый, Афина — светлоокая, царь Менелай — светловласый, великий воин Ахилл — русокудрый, красавица Хрисеида — черноокая и т.д. Какой удивительной цветовой точностью обладал Гомер, если он отличал светловласых от русокудрых! Здесь можно вспомнить, что Ахилл был царем мирмикийцев, а развалины древнегреческих городов Ахиллии и Мирмикии раскопаны археологами на берегу Керченского пролива, где издавна обитали русоволосые скифы, могучие воины. Не текла ли в жилах Ахилла протославянская кровь?

Поражает точность цветовых характеристик металлов: олово — белое, медь — багряная, а вот железо... Знаете ли вы, какого цвета железо? Ведь этот вопрос оказался не под силу даже современным специалистам: технические справочники уныло сообщают, что у железа цвет... железно-серый! Не нашлось у инженеров подходящих слов, слишком беден технический язык. А вот Гомер нашел точное определение. В его стихах железо — седое! Конечно, сравнение блестяще. О такой находке может мечтать любой поэт. Но для этого необходимы зоркие глаза, нужно видеть! Стихи Гомера — несомненное свидетельство того, что первый поэт мира был наблюдательнее и зорче нас.

Наверное, если бы Гомер действительно был слеп, в его поэмах главенствовали звук, осязание и запах, а зрительные ассоциации подавлялись. Когда я провел подсчет зрительных, звуковых, осязательных и запаховых ассоциаций, то оказалось, что Гомер 85—90% информации о внешнем мире передает на основе зрительного восприятия, около 10% приходится на слух, остальное — на осязание и запах. Такое распределение характерно для вполне здорового человека, которому зрение поставляет до 90% информации об окружающем мире.

А почему, собственно, принято считать Гомера слепым? Ведь древние греки не сомневались в том, что он был зрячим. Более 200 лет его стихи передавались из поколения в поколение бродячими певцами-аэдами. В VI в. до н.э. поэмы впервые записали по приказанию афинского тирана Писистрата. Еще через столетие появились первые скульптурные изображения Гомера. Конечно, никто не знал, как он выглядел на самом деле, но изображали его на всех древних бюстах вполне нормальным зрячим человеком.

### Кто ослепил Гомера?

По преданию, Гомера похоронили на о. Хиосе. Сохранились монеты с Хиоса, относящиеся к IV в. до н.э. Поэт на них изображен похожим на Зевса, с широко открытыми зрячими глазами. В музее г. Модены в Италии хранится бронзовый бюст той же эпохи, где сохранилась надпись с именем Гомера. Предполагают, что этот бюст — копия с более древнего мраморного изображения. В музее Неаполя стоит мраморный бюст IV в. до н.э. — и тоже без всяких следов слепоты. Известны и другие древние изображения зрячего поэта, но все они созданы до эпохи эллинизма, начало которой положил Александр Македонский.

Почему же в наше время так широко распространено мнение о слепом Гомере? Когда оно появилось и почему? Ведь «настоящим» древним грекам и в голову не приходила такая мысль! Окальзывается, представление о «великом слепце» возникло в Александрии, знаменитом городе, построенном Александром Македонским и ставшем мировым центром эллинистической культуры.



Монета IV в. до н.э., отчеканенная на о. Хиос, где, по преданию, был похоронен Гомер. На монете — имя поэта и его изображение с широко открытыми зоркими глазами.

Здесь и далее все изображения взяты из книги Г.Хафнера «Выдающиеся портреты Античности». М., 1984.

Плутарх рассказывает, что полководец во всех походах не расставался с текстом «Илиады» и называл поэму своей величайшей драгоценностью. Завоевав Египет, Македонский решил основать там большой город и назвать его своим именем. Зодчие уже нашли подходящее место, но Александру во сне явился... сам Гомер в образе почтенного старца с седыми волосами. Он встал рядом и прочитал ему стихи из «Одиссеи»:

*На море шумно-широком находится остров, лежащий  
Против Египта; его именуют там жители — Фарос...  
Пристань находится верная там, из которой большие  
В море выходят суда, запасенные темной водою.*

(Од., песнь 4, 354—357)

Александр немедленно отправился на Фарос и увидел местность, удивительно подходящую для постройки большого города — с рекой и прекрасной гаванью. Царь воскликнул, что Гомер, достойный восхищения во всех отношениях, вдобавок ко всему — мудрейший зодчий. Он приказал тут же начертить план города, сообразуясь с местностью. Под рукой не оказалось мела, и тогда зодчие сделали разметку ячменной мукой.

Так зимой 332/331 г. до н.э. была основана Александрия, столица греко-египетского государства Птолемея и крупнейший центр эллинистической культуры. Естественно, в центре города поставили храм Гомера, а сам поэт был обожествлен.

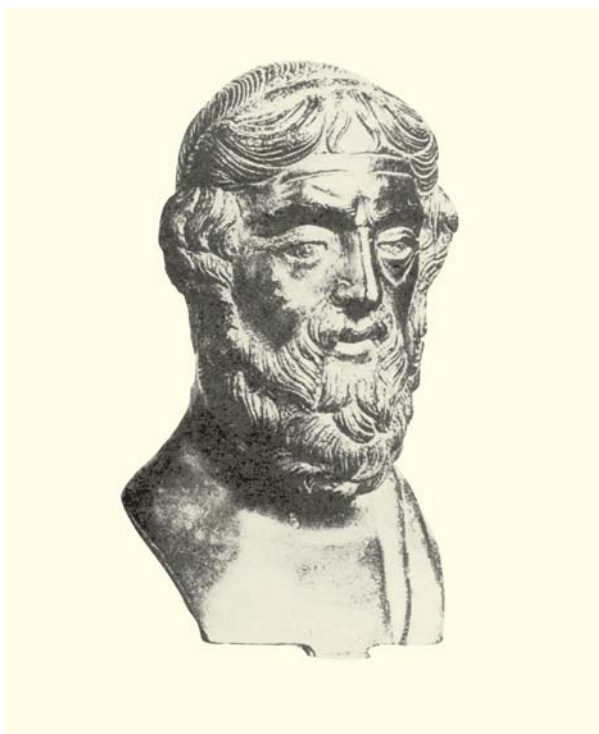
И вот интеллектуалам и многочисленным философам Александрии старые изображения Гомера могли показаться... недостаточно интересными. Бог-поэт, по их мнению, должен выглядеть не как обычный смертный, а как-то иначе. Но как?

Изоощренные в спорах и дискуссиях философы эпохи эллинизма, воспитанные на Платоне и Аристотеле, любили подчеркивать превосходство «зрячести слепоты» избранных над «слепотой зрячести» малограмотной и бескультурной массы. Они помнили спор этих знаменитых философов древности на тему: «Имеются ли у крота глаза?».

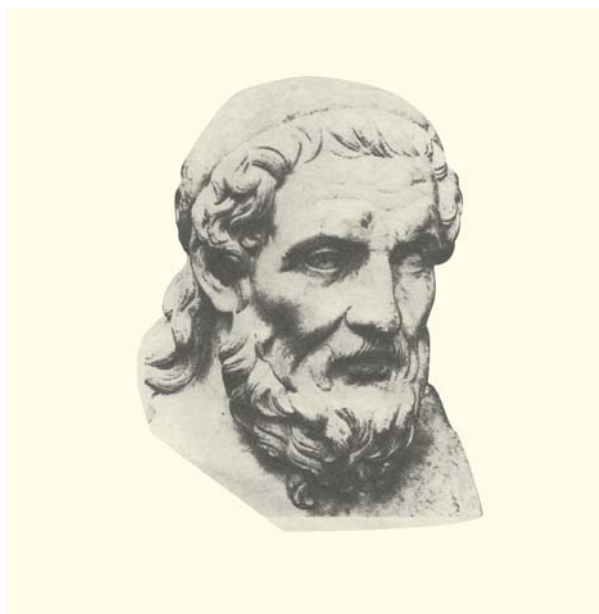
Как известно, дискуссия затянулась, и раб-садовник предложил философам просто взять крота и посмотреть на его морду. Но философы ответили, что для решения задачи крот им совсем не нужен. И продолжали теоретизировать. Нечто похожее получилось и с «философской проблемой» Гомера. Для элитарного восприятия образ слепого основоположника мировой литературы оказался очень привлекательным — и Гомера в храме изображали... слепым!

### Гомерический смех Демодока

До нашего времени дошло более 20 копий знаменитого бюста, созданного ваятелями Александрии и установленного Птолемеем IV Филопатором (222—204 г. до н.э.) в храме Гомера. Очевидно, таких копий в древности было создано гораз-



Бронзовый бюст зрячего Гомера, IV в. до н.э. — копия с более древнего мраморного изображения. Музей г. Модены (Италия).



Мраморный бюст зрячего Гомера, IV в. до н.э., музей г. Неаполя (Италия).

до больше. К мнению и вкусам прославленной Александрийской библиотеки прислушивался весь просвещенный мир эллинистической культуры. Ведь древнегреческие философы без всяких ускорителей пришли к мысли о существова-



нии атома! И если мысль человека всеильна, то и зрение основоположнику поэзии совсем не обязательно. Он формирует мир из головы — готовым и совершенным. Примерно так же, как Зевс из расколотой Гефестом головы произвел Афины Палладу.

Мнение о слепоте поэта подтверждалось стихами Гомера о слепом от рождения знаменитом певце — Демодоке. И сейчас исследователи творчества Гомера считают автобиографичными строки из «Одиссеи», посвященные Демодок:

*Муза его при рождении злом и добром одарила —  
Очи затмила его, даровала за то сладкопенье.*

(Од., песнь 8, 63–64)

Думается, что если Демодок был слеп от рождения и не знал, что такое цвета и формы окружающего мира, то прообразом Гомера он быть никак не может. Но что удивительно: в игривой и даже эротической песне Демодока о том, как хромым бог-кузнец Гефест поймал железной сетью жену-изменницу Афродиту в объятиях бога войны красавца Ареса, полностью отсутствуют... цвет, свет, форма предметов и их описание.

Но зато именно в песне слепого от рождения поэта и певца Демодока с небывалой для поэм Гомера силой проявился звук. Все знают выражение «гомерический смех», но никто не обратил внима-

ния на то, что этот знаменитый смех — создание не Гомера, а Демодока! Ведь только в его песне боги дважды «поднимают смех несказанный», а попросту говоря, буквально умирают от смеха, глядя на опутанных железной сетью незадачливых любовников, лежащих на ложе Гефеста.

Песнь Демодока — классический пример того, как слепой поэт фиксирует внимание слушателей на действии и звуке. Похоже, что Гомер действительно вставил в свою поэму песнь слепца в качестве «развлекательной программы», но сделал это корректно и безупречно с точки зрения даже современной этики, указав имя автора песни и органично включив ее в описание веселого народного праздника.

Итак, Гомер не был слепым. Конечно, он мог ослепнуть в старости, но на его творчестве это никак не отразилось. Его поэмы доносят до нас сквозь непроглядный мрак времени формы, краски, блеск и свет древнего мира, создавая удивительное ощущение прорыва через тысячелетия. Это чувство выразил и Пушкин, отозвавшийся в печати на перевод «Илиады» другим — незачеркнутым — двустишием:

*Слышу умолкнувший звук  
божественной эллинской речи,  
Старца великого тень чую смущенной души.*

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы

**О.О.АСТАХОВА**

**М.Б.БУРЗИН**

**Т.С.КЛЮВИТКИНА**

**К.Л.СОРОКИНА**

**Н.В.УЛЬЯНОВА**

**О.И.ШУТОВА**

Литературный редактор

**Е.Е.ЖУКОВА**

Художественный редактор

**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией

**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Перевод:

**С.В.ЧУДОВ**

Корректоры:

**М.В.КУТКИНА**

**Л.М.ФЕДОРОВА**

Графика, верстка:

**А.В.АЛЕКСАНДРОВА**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредитель:  
Российская академия наук,  
президиум  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,  
Москва, Мароковский пер., 26  
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (499) 238-24-56

E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 17.01.2014  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать  
Заказ 2036  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6