

# ПРИРОДА

8 09



**В НОМЕРЕ:****3 Ревнивцев М.Г.****Рентгеновская инвентаризация Галактики и окрестностей**

Обзор неба в рентгеновских лучах неocenим для развития представлений об астрофизических явлениях в Галактике и Вселенной. Так, это излучение несет информацию об экстремальных процессах с участием черных дыр и нейтронных звезд, когда вещество разогрето до чудовищных температур.

**14 Киселева Е.В.****Микромир живой клетки**

Исследование с помощью сканирующей электронной микроскопии, которая позволяет заглянуть внутрь клеточного ядра, увидеть обе поверхности его оболочки и сравнить их строение, полезны не только для изучения клеточных процессов, но и для создания новых лекарственных препаратов.

**22 Нефедова Л.Н., Ким А.И.****Геномика вирусов: новый подход и старая модель**

Сравнительный анализ геномов ретровирусов, вызывающих тяжелые заболевания (лейкемию, иммунодефицит и т.д.) у человека и животных, и ретротранспозонов, недавно обнаруженных в ДНК дрозофилы, помогает в решении и фундаментальных, и прикладных задач.

**26 Волокитин А.И.****Трение на наноровне**

Для наномеханических систем роль трения становится критической: потеря всего лишь одного слоя атомов может разрушить подобное устройство. В нанотрибологии за последние годы получены впечатляющие экспериментальные и теоретические результаты, зачастую неожиданные.

**35 Каримова О.А., Зекцер И.С.****Стратегический ресурс водоснабжения**

Подземные воды остаются самой ценной частью мирового запаса пресных вод. Но человек постоянно нарушает природное равновесие, и пока закономерность этого равновесия не будет установлена, путь в подземные кладовые пресной воды будет закрыт.

**40 Лыков И.Н., Сафронова С.А., Морозенко М.И., Ефремов Г.В.****Метаногенез и глобальные климатические процессы**

В результате деятельности человека количество метана в атмосфере ежегодно увеличивается. Это может приводить к серьезным экологическим изменениям. В то же время метан, образующийся на свалках, можно использовать как источник энергии.

**Научные сообщения****45 Зеленцова О.В., Кузина И.Н., Милованов С.И.****Склад янтаря-сырца в древнем Владимире****Шепелева И.П.****Что видят брюхоногие моллюски? (48)****Заметки и наблюдения****54 Короновский Н.В., Мышенкова М.С.****Кала-Кулак — овраг «замков»****57 Дорожкина М.В., Саватюгин Л.М.****Трижды предсказанный архипелаг****65 ВЕХИ ЖИЗНИ И ТВОРЧЕСТВА**

К 100-летию со дня рождения А.А.Малиновского

**Клебанер В.С.****«Он человек был, человек во всем» (66)****Богданов Н.Н.****Научный наставник (75)****79****Новости науки**

Открытие планеты астрометрическим методом (79). Новые прямые снимки планет. **Вибе Д.З.** (79). Почему кометы грязные? (81). Sic transit gloria mundi (81). Как взвесить фотон (81). «Адская» эра Земли была не так уж плоха для жизни (82). Ящерица-«эфемер». **Семенов Д.В.** (82). Пелагическая экосистема у побережья Западной Африки (82). Тектонические нарушения в створе плотины Иркутской ГЭС (83). Сдвиг западных ветров (84). Спасательная археология Москвы (85).

**Рецензии****87 Гиляров А.М.**

**Книга в книге о великом микробиологе** (на кн.: Г.А.Заварзин. Три жизни великого микробиолога: Документальная повесть о Сергее Николаевиче Виноградском)

**91****Новые книги****Встречи с забытым****93 Блох А.М.**

**Нобелевские коллизии 70-летней давности**

## CONTENTS:

### 3 **Revnitsev M.G.**

#### **X-Ray Inventory of our Galaxy and Its Neighborhood**

*The X-ray sky survey is extremely valuable for improving understanding of astrophysical phenomena in Galaxy and Universe. For example, these emissions carry information on extremal processes involving black holes and neutron stars, when matter is heated to huge temperatures.*

### 14 **Kiseleva E.V.**

#### **Microcosm of a Living Cell**

*The unique capabilities of the scanning electron microscopy allows to look into cell nucleus, for the first time see the both surfaces of the nuclear membrane and compare their structures. Such research is useful not only for studying cellular processes but also for creation of the new drugs.*

### 22 **Nefedova L.N., Kim A.I.**

#### **Virus Genomics: A New Approach and the Old Model**

*Comparative analysis of genomes of retroviruses, that provoke serious illnesses (leukemia, immunodeficiency and so on), and retrotransposons, that have been found in Drosophila genome, will help to solve both fundamental and applied problems.*

### 26 **Volokitin A.I.**

#### **Friction on Nanoscale**

*For nanomechanical systems the role of friction became crucial: a loss of just one atomic layer can destroy such device. Impressive experimental and theoretical results were obtained in a new discipline of nanotribology in recent years, and these results are often unexpected.*

### 35 **Karimova O.A., Zektser I.S.**

#### **Strategic Resource of Water Supply**

*Underground waters remain the most valuable part of the world fresh water resource. But human interference constantly disrupts their natural equilibrium, and until the laws governing this equilibrium would be established, the full access to this underground treasury of fresh water will be blocked.*

### 40 **Lykov I.N., Safronova S.A., Morozenko M.I., Efremov G.V.**

#### **Methane Production and Global Climate Processes**

*Human activity increases methane concentration in atmosphere every year. This can lead to serious ecological changes. On the other hand, methane produced at dump sites can be used as energy source.*

## Scientific communications

### 45 **Zelentsova O.V., Kuzina I.N., Milovanov S.I.**

#### **A Store of Raw Ember in Ancient Vladimir**

**Shepeleva I.P.**

#### **What Do Gastropods See? (48)**

## Notes and Observations

### 54 **Koronovsky N.V., Myshenkova M.S.**

#### **Kala-Kulak – A Ravine of «Castles»**

### 57 **Dorozhkina M.V., Savatyugin L.M.**

#### **Three Times Forecasted Archipelago**

### 65 **MILESTONES OF LIFE AND CREATIVE WORK**

To Centenary of A.A.Malinovsky

**Klebaner V.S.**

#### **«He was a man, take him for all in all» (66)**

**Bogdanov N.N.**

#### **Scientific Mentor (75)**

### 79

## Science News

Discovery of a Planet by Astrometry (79). New Direct Photographs of Planets. **Wiebe D.Z.** (79). Why Comets Are Dirty? (81). Sic Transit Gloria Mundi (81). How to Weight a Photon (81). «Hellish» Age of the Earth Was Not So Bad for Life (82). An Ephemeral Lizard. **Semenov D.V.** (82). Pelagic Ecosystem Near Shore of Western Africa (82). Tectonic Faults at Irkutsk Power Plant Dam Location (83). Westerlies Shift (84). Rescue Archeology of Moscow (85).

## Book Review

### 87 **Ghilyarov A.M.**

**A Book about a Great Microbiologist** (on a book: G.A.Zavarzin. Three Lives of a Great Microbiologist: A documentary story about Sergey Nikolaevich Vinogradsky)

### 91

## New Books

## Encounters with Forgotten

### 93 **Blokh A.M.**

**Nobel Prize Collisions of 70 Years Ago**

# Рентгеновская инвентаризация Галактики и окрестностей

М.Г.Ревнивцев

**А**строфизика — уникальная наука. Большое несчастье астрофизики в том, что практически никакие ее объекты нельзя «потрогать руками» (что всегда предпочтительнее для более детального понимания явлений) из-за огромных расстояний до них. Однако в этом же и громадное счастье — объекты астрофизики могут быть сколь угодно чудовищными в своих проявлениях, иметь температуры в миллионы и миллиарды градусов, огромные магнитные и гравитационные поля и т.д., но при этом остаются безопасными для исследователя. Фактически астрофизика предоставляет возможность изучать физические процессы в таких экстремальных условиях, которые невозможно создать в земных лабораториях.

Астрофизика экстремальных явлений началась, когда на орбиту были запущены первые спутники Земли. До этого времени наблюдения с Земли была доступна лишь очень малая доля информации об астрофизических объектах — только излучение в оптическом и в некоторой части радиодиапазона. Электромагнитное излучение в других диапазонах, несущее в себе огромную долю астрофизической информации, полностью поглощается в атмосфере. С выходом на орбиту открылась возмож-



*Михаил Геннадьевич Ревнивцев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований РАН. Научные интересы связаны с исследованием аккреции на релятивистские объекты.*

ность наблюдать Вселенную в рентгеновских, гамма, инфракрасных лучах. Эта информация всемерно обогатила наше понимание процессов, происходящих в Галактике и Вселенной. Например, «осмотр неба» в рентгеновских лучах позволяет очень эффективно искать черные дыры и нейтронные звезды в нашей Галактике. Почему?

Дело в том, что черные дыры и нейтронные звезды, или, как их еще называют, компактные объекты, имеют уникально сильные гравитационные поля, двигаясь в которых, вещество может нагреться до температур в десятки и сотни миллионов градусов и светиться именно в рентгеновских лучах. Рентгеновские лучи для вещества с температурой в десятки миллионов градусов характерны так же, как для металла, раскаленного в мартеновских печах до

1000°C, характерно свечение в ярко-оранжевом свете. Однако для того, чтобы компактный объект «засветился», т.е. чтобы мы могли его обнаружить, необходим своеобразный «катализатор» — вещество, которое, нагреваясь, «выдает» положение компактного объекта. Самый простой способ доставить вещество в окрестности компактного объекта — это посадить последний в двойную систему с обычной звездой. В таком случае компактный объект может либо перетягивать вещество с поверхности обычной звезды, либо захватывать вещество, истекающее с нее в виде звездного ветра. Сверхмассивные черные дыры с массами в миллионы и миллиарды масс Солнца, сидящие в центрах галактик, могут поглощать межзвездное вещество, также нагревая его до рентгеновских температур. Таким

© Ревнивцев М.Г., 2009

образом, поиск «полигонов экстремальностей» требует обзоров неба именно в рентгеновских лучах; о них и пойдет речь в настоящей статье.

## Обзоры неба: всматриваясь в его свечение

Первые же обзоры неба в рентгеновских лучах принесли много интересного.

Оказалось, что рентгеновское небо разительно отличается от известного нам неба в видимом диапазоне. Во-первых, оно не черное, а светлое. Так получается в результате того, что существует достаточно мощное фоновое излучение, которое в сумме по всему небу дает поток рентгеновских фотонов, во много раз больший, чем все яркие рентгеновские источники вместе взятые [1]. Во-вторых, отличительная особенность рентгеновского неба — отсутствие яркой светлой полосы Млечного Пути, к которой мы так привыкли в оптическом (видимом) диапазоне; положение диска нашей Галактики в рентгеновском диапазоне отмечается лишь небольшим набором ярчайших точек — рентгеновских двойных систем, в которых компактные объекты «объедают» свои звезды-компаньоны.

Фоновое рентгеновское свечение неба сразу же привлекло

к себе внимание астрофизиков. Первым делом было необходимо максимально точно измерить его характеристики и определить его природу. Регистрация рентгеновского фона проводилась многими приборами на ракетах и спутниках (в том числе, например, очень хорошие результаты были получены на советских спутниках «Космос-163 и -461» [2]). Однако до сих пор практически самыми точными измерениями формы спектра космического фона в диапазоне энергий 3–30 кэВ (т.е. в рентгеновских лучах) остаются данные обсерватории HEAO1 (NASA, время работы на орбите 1977–1979 гг., см. рис.1). Один из приборов этой обсерватории (A2) был сконструирован специально для того, чтобы максимально точно регистрировать именно изотропный фон неба.

Основной проблемой любых измерений в рентгеновских лучах оказывается инструментальный фон регистрирующего прибора. Иначе говоря — сигнал, который прибор выдает, даже когда на него не падают никакие рентгеновские фотоны (например, когда объектив инструмента закрыт толстой крышкой). Этот паразитный фоновый сигнал возникает в результате различных процессов, но основной вклад дают срабатывания инст-

румента на прохождение через него энергичных космических лучей и частиц, рожденных при взаимодействии космических лучей с веществом спутника или телескопа. Поскольку величина этого паразитного сигнала мало зависит от направления, в котором смотрит инструмент, его очень сложно отделить от истинного фонового рентгеновского излучения, если последний достаточно изотропен.

Чтобы это все-таки сделать, детекторы прибора A2 обсерватории HEAO1 были снабжены двумя типами коллиматоров (трубок из достаточно толстого материала, которые ограничивали поле зрения прибора, см. рис.2). Была использована особенность изотропного излучения неба — если яркость фона неба не зависит от направления, полный поток рентгеновских лучей, очевидно, пропорционален размеру поля зрения прибора, в то время как инструментальный паразитный фон не знает о том, какое у детектора поле зрения. Следовательно, если идентичные части детектора помещены под коллиматоры разного размера, то разница в потоках рентгеновских фотонов в этих частях детектора будет зависеть только от истинного небесного рентгеновского потока, а никак не от паразитного фона инструмента.

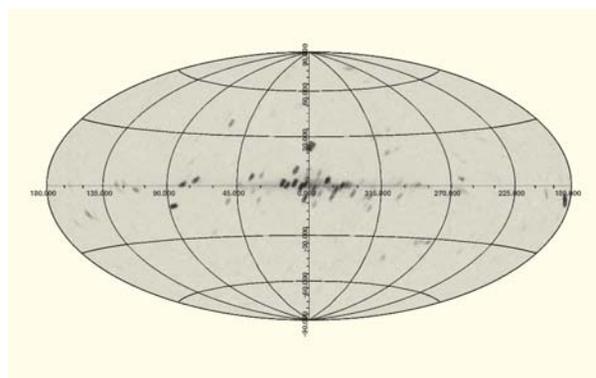


Рис.1. Обсерватория HEAO1 (NASA), слева. Карта всего неба (в проекции aitoff), полученная прибором A2 обсерватории HEAO1 (карта службы Skyview [skyview.gsfc.nasa.gov](http://skyview.gsfc.nasa.gov)), справа. Хорошо видно, что небо целиком заполнено свечением — фоновым рентгеновским излучением Вселенной (серая область на всей карте). Темные прямоугольники — отдельные яркие источники рентгеновского излучения, большая часть которых расположена в нашей Галактике. Большой размер прямоугольников связан с плохим угловым разрешением инструмента.

Результаты измерений показали, что спектр космического фона не имеет никаких особенностей (т.е. не содержит, например, эмиссионных линий) и имеет широкий пик в области энергий 20—40 кэВ [3]. Вид спектра в диапазоне 3—50 кэВ позволил выдвинуть предположение (впоследствии не подтвердившееся), что фоновое излучение рождается в горячей (с температурой в сотни миллионов градусов) разреженной плазме, заполняющей всю Вселенную. Однако в дальнейшем оказалось, что такие горячие электроны, которые нужны были для объяснения в рамках этой модели фонового свечения рентгеновского неба, должны сильно исказить форму спектра реликтового излучения Вселенной (излучения, дошедшего до нас практически от края наблюдаемой Вселенной), а этого явно не наблюдалось (см., например, [4]).

Изучение уже открытых к тому времени в большом количестве квазаров — объектов громадных светимостей в центрах далеких галактик — позволило предположить, что, возможно, суммарное излучение (в рентгеновских лучах) большого числа квазароподобных объектов во Вселенной (аналогичных показанному на рис.3) может привести к формированию наблюдаемого фонового свечения рентгеновского неба, а его «размазанность по небу» есть просто результат того, что поверхностная плотность таких источников достаточно велика [5]. Для проверки этой гипотезы были необходимы рентгеновские наблюдения не только с хорошей чувствительностью, но и с хорошим угловым разрешением, которое позволило бы увидеть очень большое число объектов в поле зрения прибора.

Такие измерения были проведены первым рентгеновским телескопом с фокусирующей оптикой HEAO-2/«Эйнштейн», который подтвердил, что фоновое рентгеновское свечение не-

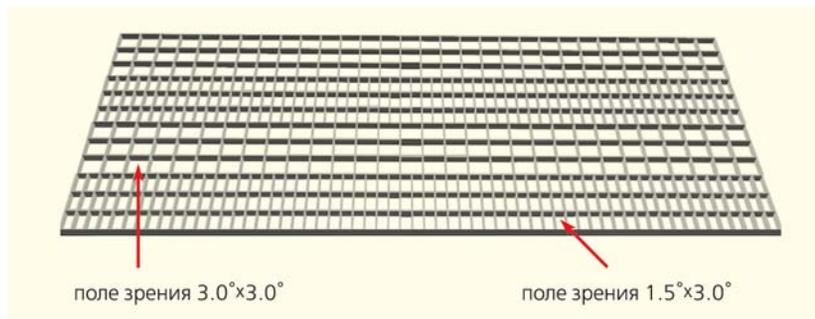


Рис.2. Схематичный вид набора коллиматоров (трубок, ограничивающих поле зрения инструмента) прибора А2 обсерватории HEAO1. Чередующиеся ряды коллиматорных трубок разного размера позволили достичь практически идеального учета паразитного фона инструмента, возникающего при прохождении через него высокоэнергичных заряженных частиц.

ба действительно складывается в основном из излучения большого числа квазароподобных объектов — сверхмассивных черных дыр в центрах галактик, или, как их еще называют, активных ядер галактик [6]. Интерес к изучению рентгеновского фона Вселенной значительно возрос. Ведь рентгеновское фо-

новое свечение дает информацию о суммарном росте сверхмассивных черных дыр во всей Вселенной!

К сожалению, измерения рентгеновского фона Вселенной в области, где он несет наибольшее количество энергии (т.е. в области 20—40 кэВ), очень трудны. Фактически в

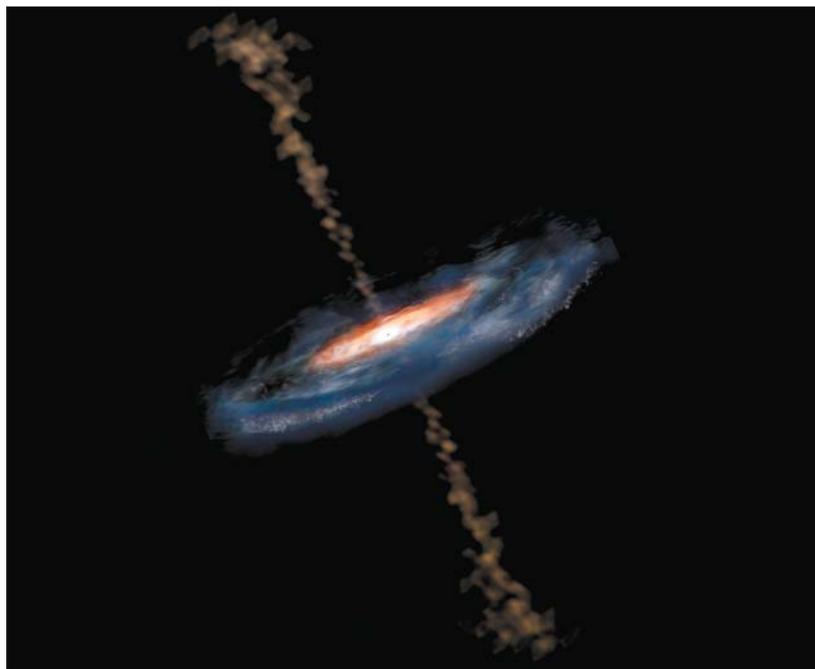


Рис.3. Вид активного ядра галактики в изображении художника. В центре находится сверхмассивная черная дыра, вокруг которой сформирован аккреционный диск. Вещество аккреционного диска в областях, близких к черной дыре, разогрето до температур в десятки и сотни миллионов градусов. Иногда активные ядра галактик испускают струи вещества — джеты (показаны на рисунке) с околосветовыми скоростями (изображение NASA).

этом диапазоне энергий существует всего несколько измерений за все время существования рентгеновской астрономии, к тому же различные данные не всегда хорошо согласуются друг с другом.

### Последние новости

Одними из последних измерений рентгеновского фона Вселенной в этой области стали измерения совместного проекта Европейского и Российского космических агентств — орбитальной обсерватории «Интеграл», успешно работающей на орбите с 2003 г. Поскольку приборы данной обсерватории не были предназначены для изучения изотропного фона Вселенной, для измерений пришлось проделать определенный трюк. На службу удалось поставить тот факт, что (как уже говорилось) рентгеновское небо не черное, а светлое. Любой объект, затеняющий рентгеновское небо для измеряющего прибора, фактически выглядит как черная «крышка», будь то Земля или даже Солнце. Таким образом, измеряя поток рентгеновских лучей с закрытой и открытой «крышкой», т.е. во время, когда

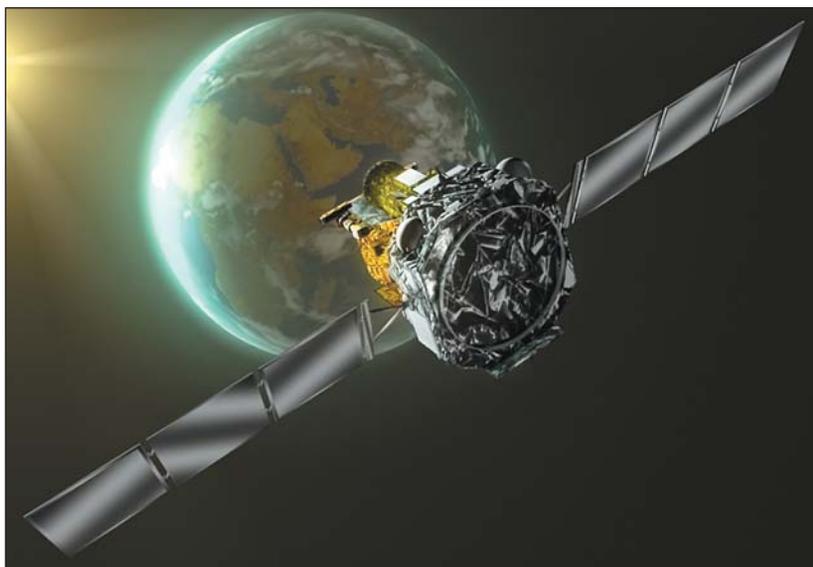


Рис.4. Наблюдения обсерватории «Интеграл» по измерению рентгеновского фонового свечения Вселенной. Рисунок ESA.

приборы обсерватории находились в тени и вне тени Земли (рис.4), удалось получить спектр рентгеновского фона Вселенной [7].

В настоящее время в Институте космических исследований РАН разрабатывается эксперимент по высокоточному измерению рентгеновского фона Вселенной в диапазоне энергий 10—50 кэВ. Для этого на Международную космическую стан-

цию (МКС) предполагается установить прибор МВН (Монитор всего неба, рис.5), поле зрения которого ограничено коллиматором, а входное отверстие будет периодически прикрываться специальной крышкой. Измерения потока рентгеновских лучей на детекторе в периоды открытого и закрытого входного отверстия коллиматора дадут возможность определить паразитный фон детектора и значение

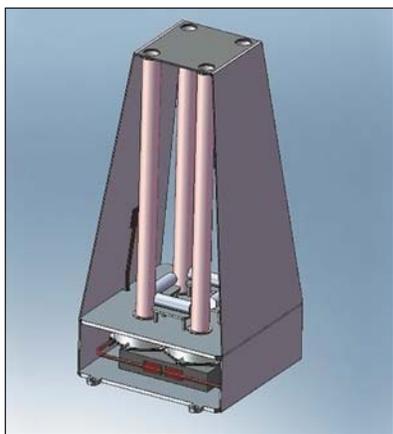
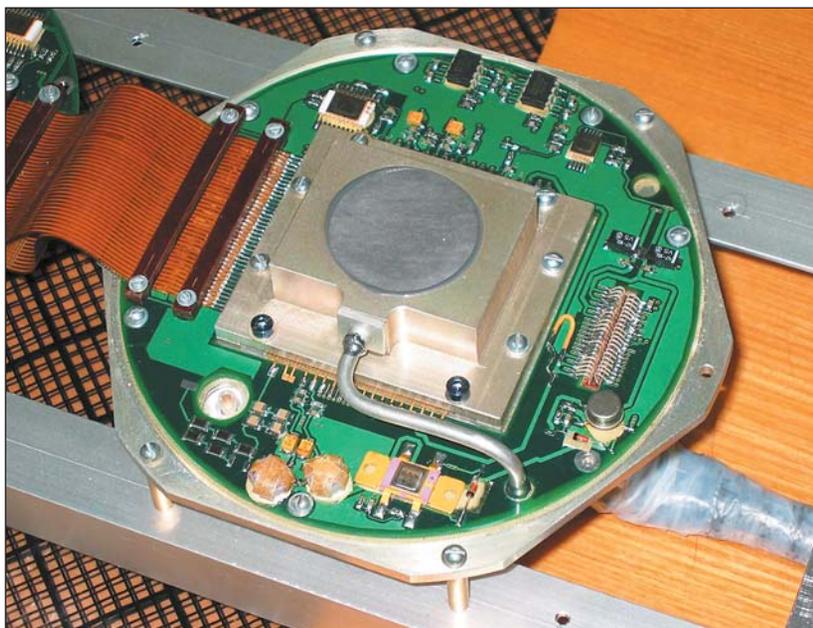


Рис.5. Общая схема инструмента Монитор всего неба (МВН, разрабатывается в ИКИ РАН), планирующегося к запуску на МКС в 2010 г. (слева). Один из детекторов инструмента МВН (справа).



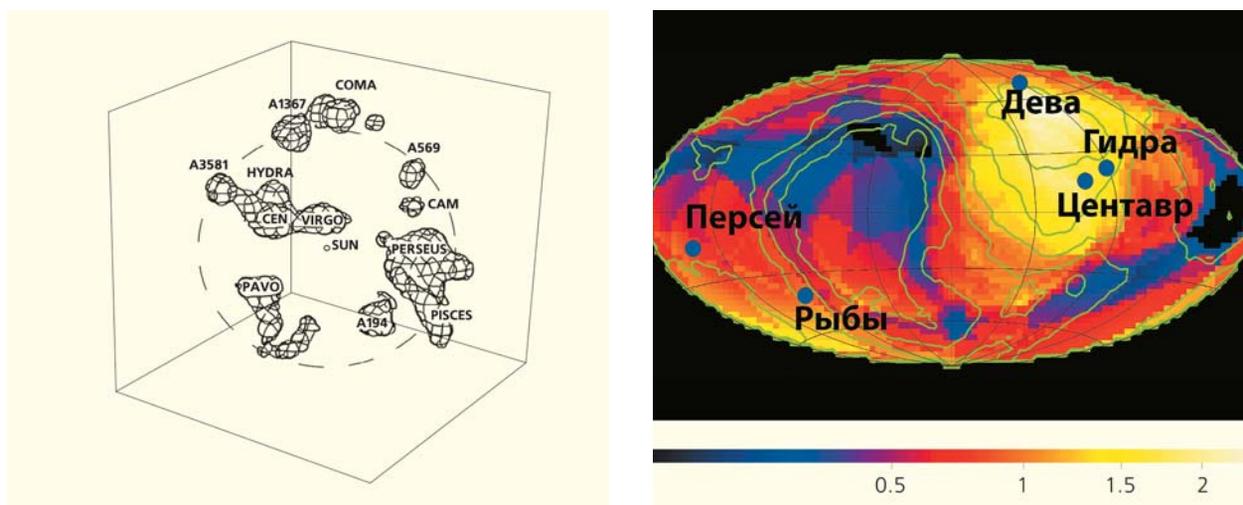


Рис.6. Схематичное изображение концентраций массы вещества в ближайшей Вселенной по результатам обзора неба в инфракрасных лучах обсерватории IRAS (слева). Сторона куба на изображении — 200 Мпк [8]. Поверхностная плотность активных ядер галактик, обнаруженных в обзоре всего неба обсерватории «Интеграл» (справа). Контурами показаны поверхностные плотности известных галактик в сфере размером 70 Мпк [9].

истинного фонового рентгеновского излучения Вселенной.

Поле зрения МВН будет двигаться по небу вместе с движением космической станции, и каждые два с половиной месяца будет покрывать всю доступную часть неба (около 78% всего неба). Мониторинг ярких и постоянных источников рентгеновского излучения позволит точно откалибровать поведение инструмента и привязать измерение рентгеновского фона Вселенной к излучению, например, «стандартной рентгеновской свечи» — Крабовидной туманности.

При достаточно длительной работе прибора на борту МКС удастся измерить не только среднее по всему небу излучение рентгеновского фона Вселенной, но также и его неизотропность, т.е. сравнительно небольшую разницу в его яркости в различных направлениях на небе. Такое измерение представляет большой интерес для исследований свойств ближней Вселенной, поскольку позволяет оценить суммарный вклад всех возможных источников рентгеновского излучения, какими бы слабыми индивидуально они ни были. Каким образом?

Дело в том, что Вселенная на масштабах 100—200 Мпк сильно неоднородна, вещество на таких масштабах формирует скопления и пустоты, средняя плотность галактик в которых может отличаться в десятки раз (рис.6, слева). Если рентгеновские источники каким-то образом следуют распределению материи во Вселенной (что является вполне разумным предположением, т.е. мы предполагаем, что в «пустоте» источников рентгеновского излучения нет), их распределение так же сильно неоднородно и должно формировать скопления и пустоты. Рентгеновский свет, который родился в дальней Вселенной, расположенной от нас на расстояниях более 200 Мпк, будет изотропен по небу, вариации яркости рентгеновского свечения неба в разных направлениях из-за таких далеких источников будут составлять малые доли процента. А источники, расположенные в ближней Вселенной, на расстояниях менее 100 Мпк, создадут на небе определенную картину. Причем яркие источники в ближней Вселенной можно будет увидеть непосредственно (см., например, результаты обсерватории «Интеграл», рис.6,

справа), а слабые источники, до которых не позволит «дотянуться» чувствительность инструментов, проводящих обзор всего неба, создадут на небе протяженные «выпуклости», амплитуда которых будет прямо пропорциональна суммарной светимости всех таких рентгеновских объектов в ближней Вселенной.

Эксперименты по измерению неизотропности рентгеновского свечения Вселенной достаточно сложны, потому что здесь речь идет об эффектах, имеющих амплитуду всего несколько процентов от средней яркости космического фона. Такие измерения проводились с помощью обсерваторий НЕАО1 [10] и RXTE [11]. По результатам более трех лет наблюдений первой и 10 лет — второй обсерватории удалось измерить полную излучательную способность ближней Вселенной (т.е. полную ее светимость в рентгеновских лучах), однако точность этих данных оказалась невелика. Есть надежда, что измерения, которые будут проведены с помощью прибора МВН, планирующегося к запуску на МКС в 2010 г., позволят улучшить эти измерения.

## Видеть сквозь стены

Изучение нашей Галактики в рентгеновском диапазоне началось с запуском первых ракет и первых спутников. Первые систематические обзоры неба в рентгеновских лучах были проведены более 35 лет назад орбитальной обсерваторией UHURU (время работы на орбите 1970—1973 гг.). Было обнаружено большое число ярких рентгеновских источников, подавляющее большинство которых оказались двойными системами с компактными объектами.

Однако уже тогда было ясно, что межзвездная среда в диске Галактики должна препятствовать прохождению рентгеновских лучей малых энергий, в которых как раз и работали ранние рентгеновские обсерватории, — большая часть Галактики должна быть скрыта от нас. Действительно, несмотря на довольно малую плотность межзвездного вещества в нашей Галактике (типичное значение плотности межзвездного вещества — всего несколько частиц в кубическом сантиметре), расстояния здесь настолько велики — десятки тысяч световых лет, или  $10^{22}$  см, — что на луче зрения копится большое число частиц, которые будут поглощать рентгеновское излучение. Фактически смотреть сквозь Галактику — то же, что смотреть сквозь свинцовую стену толщиной в несколько миллиметров! Конечно, такое значительное поглощение наблюдается только вдоль галактического диска, т.е. только вдоль довольно небольшой полосы на небе, остальная часть неба очень слабо подвержена вуалирующему влиянию межзвездного вещества Галактики. Но именно эта часть неба нам наиболее интересна.

Чтобы провести максимально тщательный осмотр Галактики, необходимо смотреть в рентгеновских лучах больших энергий (с увеличением энергии фотонов их проникающая способность сильно увеличивается,

в частности, фотоны с энергиями выше 10—15 кэВ беспрепятственно проходят сквозь всю Галактику). Долгое время такие обзоры Галактики были лишь мечтой астрофизиков. Основной проблемой работы с рентгеновскими фотонами высоких энергий является как раз их большая проникающая способность: такие фотоны очень трудно сфокусировать, а значит, невозможно получить качественное изображение.

Первые грубые изображения Галактики (да и всего неба) в жестких рентгеновских лучах были получены с помощью прибора-коллиматора, т.е. инструмента, поле зрения которого было ограничено коллиматором-трубой, на обсерватории HEAO1. Как чувствительность, так и угловое разрешение этого прибора были невелики и не могли удовлетворить исследователей в их желании знать о нашей Галактике больше.

Следующим большим шагом к получению высококачественной карты неба в жестких рентгеновских лучах стал французский телескоп «Сигма» на борту советской обсерватории «Гранат» (время работы на орбите 1989—1998 гг., см. рис.7). В телескопе «Сигма» для построения изображения использовался метод кодирующей апертуры, который работает по принципу — если что-то (фотон) нельзя отклонить (сфокусировать), то это можно остановить. Над детектором рентгеновских лучей устанавливается толстая пластина — «маска» — из поглощающего вещества (например, вольфрама), в которой прорезано большое число отверстий. Рентгеновское излучение проходит только через эти отверстия, и на поверхности детектора возникает картина ярких пятен, расположение которых зависит от координат источника излучения на небе. Другими словами можно сказать, что маска отбрасывает «тень» на детектор (см., например, рис.7, слева). Дальнейший компьютерный анализ

тени позволяет восстанавливать изображение неба.

Обсерватория «Гранат» была запущена на орбиту в 1989 г. и сведена с орбиты в 1997-м. За восемь лет работы телескопом «Сигма» было получено множество уникальных результатов. Среди них — карта неба и, в частности, самая подробная на тот момент карта плоскости Галактики в жестких рентгеновских лучах, не подверженных влиянию межзвездного поглощения [12] (рис.8).

В чувствительности телескопов жесткого рентгеновского диапазона произошел большой скачок (в основном благодаря значительно увеличенным размерам) с запуском на орбиту обсерватории «Интеграл» (ESA, РКА) в 2003 г. и обсерватории Swift (NASA) в 2004 г.

Наблюдения обсерватории «Интеграл», начавшиеся после окончания цикла проверки работоспособности инструментов, почти немедленно принесли открытие практически нового класса «поглощенных» источников. Первым из них стал IGR J16318-4848 ([13], буквы IGR в названии источника отражают то, что он был открыт обсерваторией «Интеграл», а цифры указывают его небесные координаты), разительно отличающийся от тех, которые были открыты, например, обсерваторией UHURU. В жестких рентгеновских лучах он был очень ярк, а с уменьшением энергии фотонов становился все более тусклым и фактически пропадал на энергиях ниже 4—5 кэВ, т.е. там, где работают почти все рентгеновские телескопы (рис.9).

Исследования этого источника с помощью орбитальных и наземных инструментов позволили выяснить причину такого необычного поведения — это мощный звездный ветер звезды-компаньона [14, 15]. Очень плотный звездный ветер не только питает нейтронную звезду, давая топливо для ее мощнейшего энергетического реактора, но и скры-

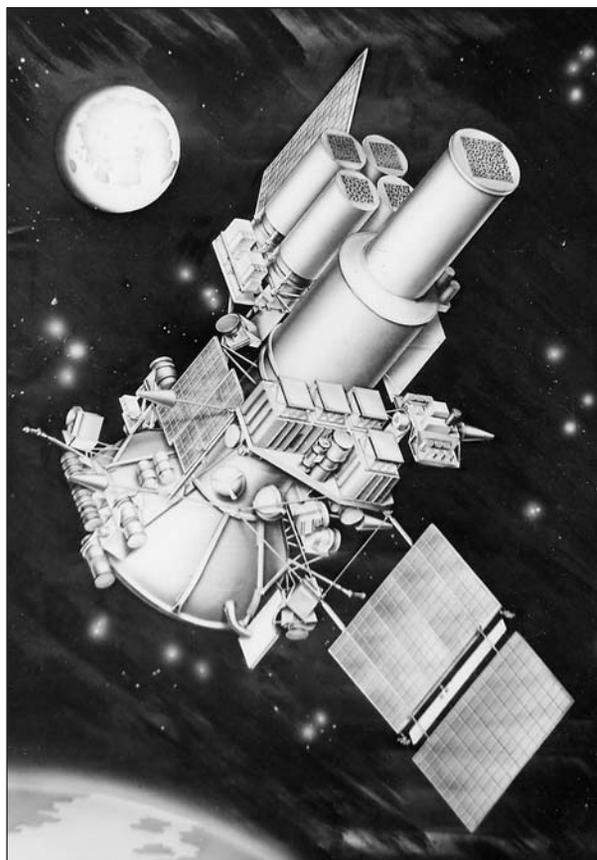
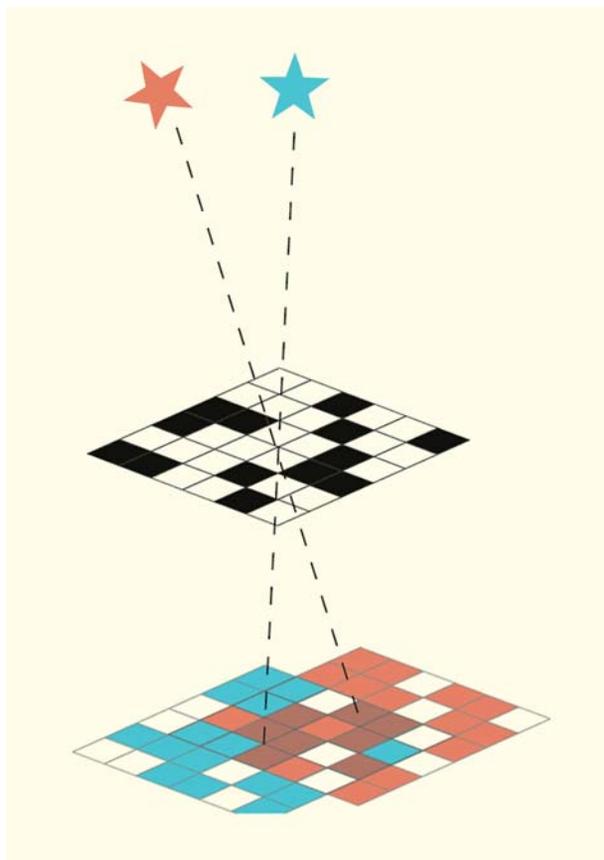


Рис.7. Схема работы телескопов с кодирующей апертурой (слева). Источники в разных местах поля зрения телескопа отбрасывают разную тень на детектор. Компьютерный анализ изображения детектора позволяет восстановить картину на небе. Изображение советской орбитальной обсерватории «Гранат» (справа). Большая труба в центральной части спутника — телескоп «Сигма».

вает ее от наблюдателя, поглощая излучение мягкого и стандартного рентгеновского диапазона (энергии менее 7–10 кэВ), рис.10. Влияние звездного ветра не ограничивается поглощением рентгеновского излучения нейтронной звезды. Холодное вещество ветра настолько плотно обволакивает двойную систему, что почти полностью поглощается также и оптическое излучение звезды-компаньона. Фактически оказалось, что только лишь инфракрасные лучи могут покидать эту двойную систему почти беспрепятственно. Именно в этих лучах и были проведены исследования, позволившие пролить свет на природу загадочного объекта (это показывает, насколько важна работа в инфракрасных лучах; к сожалению, в нашей стране пока нет высоко-

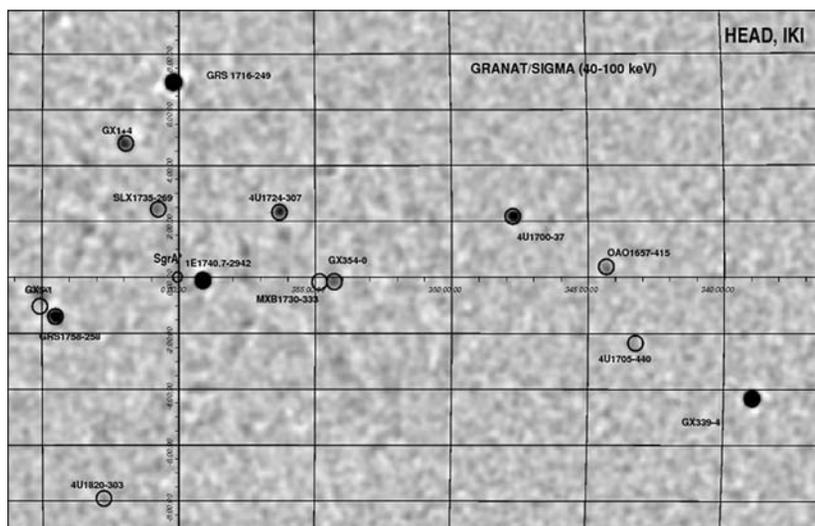


Рис.8. Область центра Галактики в диапазоне энергий 40—100 кэВ по результатам наблюдений телескопа «Сигма» обсерватории «Гранат». Черными кружками обозначены обнаруженные источники рентгеновского излучения — преимущественно аккрецирующие нейтронные звезды и черные дыры [12].

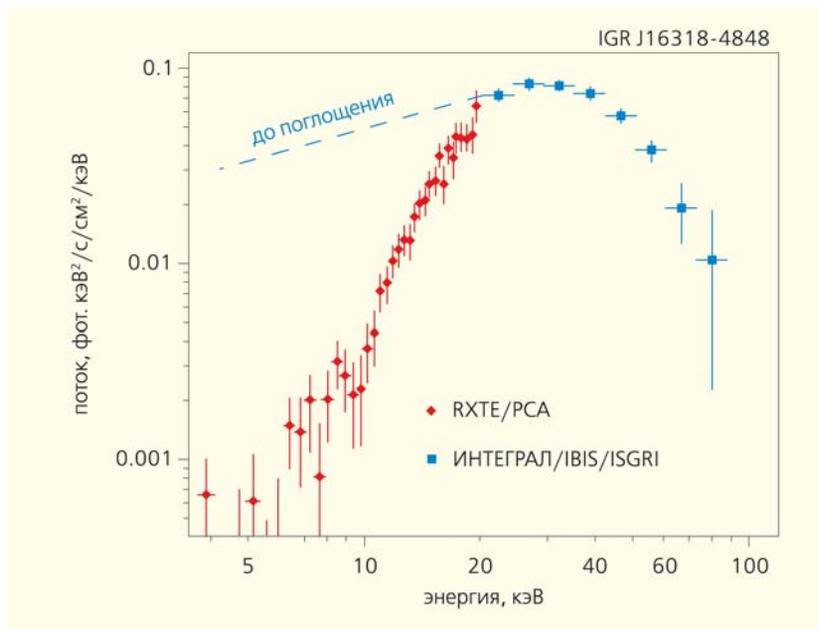


Рис.9. Спектр фотонов, испускаемых источником IGR J16318—4848, прототипом класса «поглощенных» источников, в большом количестве обнаруженных обсерваторией «Интеграл». Хорошо видно, что яркость источника сильно падает с уменьшением энергии фотонов, на энергии <5 кэВ (где работают основные телескопы рентгеновского диапазона) источник практически не виден.

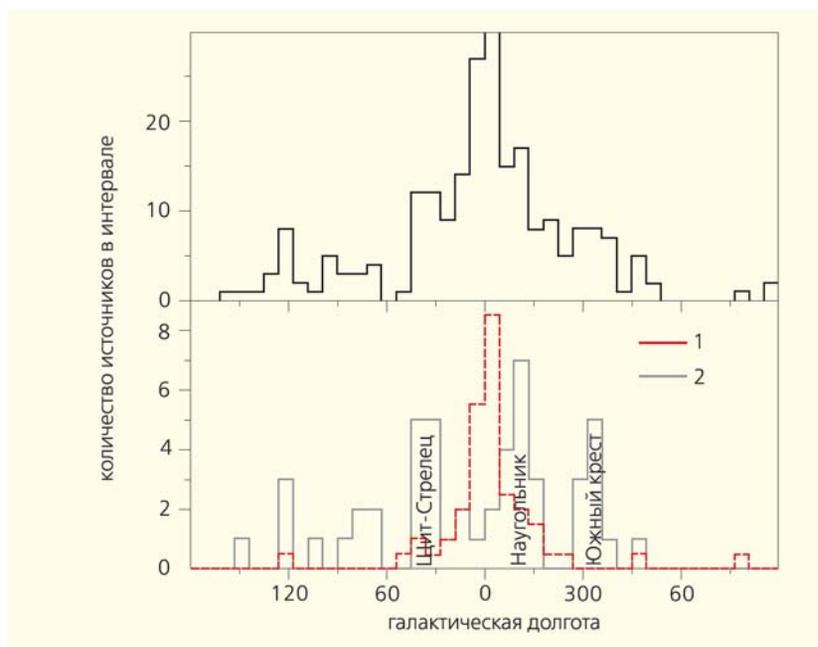


Рис.11. Распределение количества источников вдоль плоскости Галактики как функция галактической долготы по результатам обзора неба обсерватории «Интеграл». Вверху: все обнаруженные источники; внизу: 1 — рентгеновские двойные системы, у которых оптическая звезда имеет малую массу (масштаб рисунка по вертикали уменьшен); 2 — системы с массивной звездой-компаньоном [16]. Видно, что массивные двойные системы концентрируются к областям прохождения спиральных рукавов (названия рукавов подписаны) .



Рис.10. Рисунок, показывающий, как могла бы выглядеть двойная система IGR J16318-4848. Мощный звездный ветер обычной звезды укрывает аккрецирующую нейтронную звезду (изображение ESA).

качественных астрономических инструментов, имеющих возможность работать в этом участке спектра).

Мощный звездный ветер, который может скрыть мягкие рентгеновские лучи источника, возникает обычно лишь у молодых массивных звезд. Ввиду их небольшого возраста они, как правило, не могут улететь далеко от места своего рождения, а такие области в нашей Галактике расположены преимущественно в спиральных рукавах. Следовательно, спиральные рукава должны быть излюбленным местом обитания «поглощенных» источников.

Дальнейшие наблюдения обсерватории «Интеграл» полностью подтвердили эти ожидания — в областях спиральных рукавов было открыто более десятка новых «поглощенных» источников рентгеновского излучения, компактных источников, «погребенных» под ветром молодых звезд. Молодые двойные системы с массивными звездами были обнаружены преимущественно в областях, в которых луч зрения проходит по касательной к спиральным рукавам в нашей Галактике, в то время как двойные системы с маломассивными звездами (а значит — старые двойные системы) распределены в Галактике так же, как и обыч-

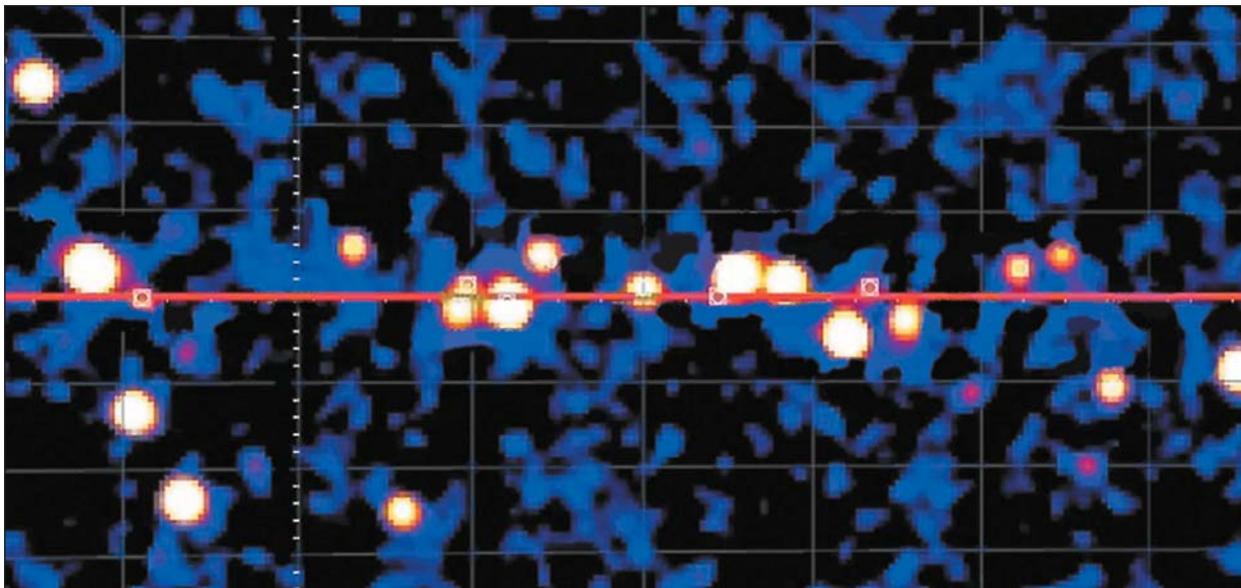


Рис.12. Карта части неба в области Галактической плоскости в направлении созвездия Наугольника по результатам наблюдений обсерватории «Интеграл». Красные и желтые пятна на карте обозначают рентгеновские источники. Своими названиями обозначены источники, у которых оптическая звезда молодая и массивная. Хорошо видно, что в этой области их число очень велико и большая часть из них открыта именно обсерваторией «Интеграл» (названия таких источников начинаются с IGR). Плоскость Галактики проходит через центр изображения.

ные звезды (рис.11). Более детальный вид одной из областей в плоскости Галактики, в которой было обнаружено большое число молодых двойных систем с массивными звездами, показан на карте на рис.12.

### Гравитационные «маяки» Галактики?

Основное количество ярких (в рентгеновских лучах) нейтронных звезд находится в двойных системах с маломассивными звездами. В таких системах вещество обычной звезды постепенно перетекает на компактную, поставляя таким образом «топливо», необходимое для рентгеновского свечения компактной звезды. Перетекание происходит в результате того, что звезда переполняет свою полость Роша — геометрическую область, в которой притяжение звезды преобладает над притяжением компактного объекта и центробежными силами во вращающейся двойной системе (рис.13).

С самого начала исследования аккрецирующих объектов в двойных системах было ясно: такой процесс сам по себе (т.е. с учетом только долговременной эволюции самой звезды) не может дать темп перетекания, необходимый для того, чтобы обеспечить наблюдаемую яркость рентгеновских двойных систем. Как только какое-то заметное количество вещества перетечет с маломассивной

звезды на более массивную (компактную), параметры двойной системы изменятся таким образом (просто из-за законов сохранения), что полость Роша обычной звезды слегка увеличится и перетекание остановится до тех пор, пока последующая эволюция звезды не приведет к ее распуханию до нового размера полости Роша (т.е. на десятки и сотни миллионов лет).



Рис.13. Двойная звездная система с маломассивной оптической звездой (справа), вещество которой постепенно перетекает на компактный объект, вокруг которого формируется аккреционный диск (слева). Рисунок художника F.Suhleria. [www.novacelestia.com](http://www.novacelestia.com).

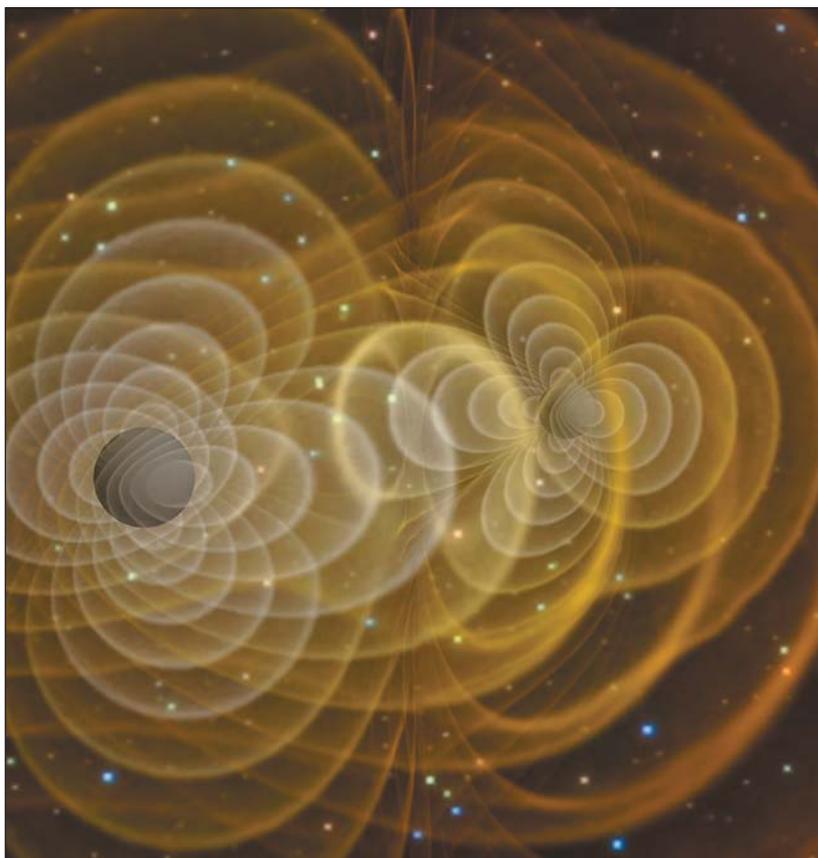


Рис.14. Схематичный вид гравитационных волн, излучаемых в тесной двойной системе. Рисунок NASA.

Чтобы перетекание продолжалось долгое время (а возраст маломассивных двойных систем составляет миллиарды лет) и с необходимым темпом, необходимо каким-то образом обеспечить потерю двойной системой своего углового момента, т.е. обеспечить торможение вращения двойной системы. В 70-х годах был предложен механизм, который позволял эффективно тормозить широкие двойные системы — торможение за счет магнитного звездного ветра оптической звезды [17]. В нем оптическая звезда, теряя вещество в виде звездного ветра, тормозилась за счет взаимодействия с ним через магнитное поле, а затем торможение вращения оптической звезды передавалось всей двойной системе приливными силами.

Пожалуй, самым интригующий механизм торможения

двойной системы — излучение двойной системой гравитационных волн. Расчеты показывали, что в достаточно тесных двойных системах (системах, орбитальный период которых не превышает 2–3 ч, т.е. с размером порядка орбиты Луны) именно гравитационные волны должны уносить их угловой момент (тормозить вращение) с темпом, достаточным для поддержания аккреции в двойных системах малой рентгеновской светимости.

Обнаружить гравитационное излучение таких двойных систем в настоящее время еще не представляется возможным (хотя такие попытки и предпринимаются, например, в эксперименте LISA). Но можно попытаться обнаружить влияние гравитационного излучения на долговременную эволюцию всей популяции рентгеновских двойных систем с маломассивными

компаньонами (см., например, [18, 19]). Так, можно систематически исследовать системы с малой рентгеновской светимостью (т.е. с малым темпом перетекания массы с оптической звезды на компактную) и показать, что они являются достаточно тесными, чтобы эффективно тормозиться за счет излучения гравитационных волн (рис. 14).

Эта задача — не из легких. Мало того, что нужно обнаружить такие слабые рентгеновские источники, необходимо также и измерить параметры их орбит.

Обычно орбитальные параметры двойных систем измеряют в оптическом диапазоне с помощью различных наземных телескопов. Для двойных систем малых размеров эти наблюдения представляют очень большую сложность. Свет маломассивных двойных систем рождается преимущественно в результате переработки рентгеновского и ультрафиолетового излучения компактного объекта в относительно холодных (с температурой всего несколько тысяч градусов) областях аккреционного диска. Следовательно, если размер двойной системы мал (а именно за такими двойными системами мы и хотим охотиться), то и их оптическое излучение будет чрезвычайно слабо и такой объект очень легко потерять на фоне огромного количества звезд, которые мы наблюдаем в направлении галактического центра и галактической плоскости.

Тем не менее есть надежда на значительный прогресс в этом направлении в самое ближайшее время. Для первичного поиска рентгеновских объектов — кандидатов в тесные двойные системы — был использован обзор центральной части Галактики (Галактического балджа) обсерватории «Интеграл» (рис.15). Этот обзор в настоящее время остается самым чувствительным обзором такой большой части Галактики и практически идеально подходит для наших целей.

Единственный существенный его минус — недостаточная точность определения положения обнаруженных источников. Фактически это — расплата за большое поле зрения основных приборов обсерватории. Для исправления ситуации были подключены собраты «Интеграла» — орбитальные рентгеновские телескопы с фокусирующей оптикой: Chandra, Swift/XRT, XMM-Newton. Планируется, что с их помощью в 2009 г. положения на небе открытых рентгеновских источников будут уточнены вплоть до  $1-0.5''$  (примерно две десятитысячные доли градуса) и с помощью наземных телескопов будут проведены глубокие оптические наблюдения нужных областей неба. Есть все основания полагать, что эти гравитационные «маяки» Галактики будут обнаружены.

## Рекламная пауза

Еще 30 лет назад было обнаружено, что не все рентгеновское излучение Галактики можно объяснить вкладом «титанов» — ярких аккрецирующих черных дыр и нейтронных звезд. Исследование областей, в которых не было явных рентгеновских источников, показало,

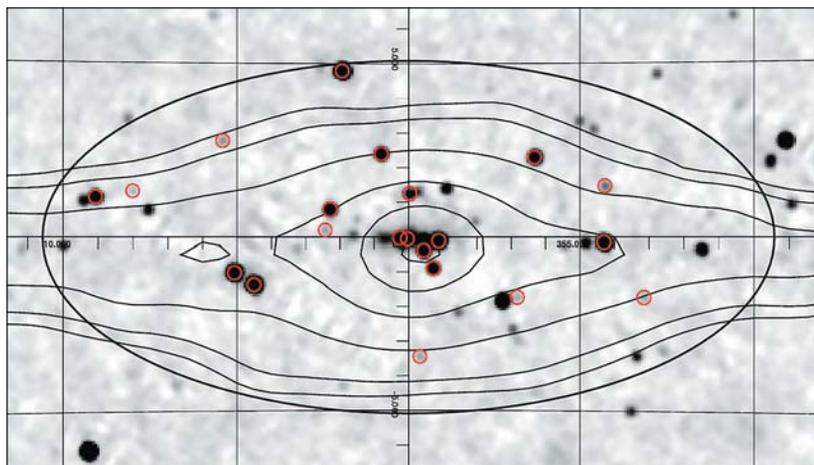


Рис.15. Изображение центральной части Галактики по результатам наблюдений обсерватории «Интеграл». Темные кружки показывают источники рентгеновского излучения, их относительно большой размер — результат ограниченного углового разрешения инструмента. Кружками обозначены объекты, оптические звезды в которых предположительно имеют малую массу. Контуры показывают яркость Галактики в инфракрасных лучах [19].

ло, что вдоль плоскости галактики есть некое рентгеновское свечение, сконцентрированное в пределах достаточно узкой полосы. «Рентгеновский хребет Галактики», как его назвали, поставил в тупик астрофизиков всего мира. По всем свойствам это излучение очень похоже на излучение очень горячего газа с температурой около 10 млн градусов. Но наша Галактика совершенно не способна удержать

столь стремительную плазму (характерные тепловые скорости в ней порядка 1000 км/с)! Это по силам лишь огромным скоплениям галактик с общей массой, тысяч в десять раз превышающей нашу. Загадка была разгадана совсем недавно, о чем сообщалось в предыдущем номере «Природы». Но эта тема заслуживает отдельной статьи, которую мы вскоре предложим вниманию читателя. ■

## Литература

1. *Giacconi R., Gursky H., Paolini F.R., Rossi B.B.* // Physical Review Letters. 1962. V.9. №11. P.439—443.
2. *Mazets E.P., Golenetskii S.V., Ilinskii V.N. et al.* // Astrophysical & Space Science. 1975. V.33. P.347—357.
3. *Marshall F.E., Boldt E.A., Holt S. et al.* // Astrophysical J. 1980. V.235. P.4—10.
4. *Barcons X., Fabian A.C., Rees M.J.* // Nature. 1991. V.350. P.685—687.
5. *Setti G., Woltjer L.* // International Astronomical Union Circular. 1973. V.55. P.208—211.
6. *Giacconi R., Bechtold J., Branduardi G. et al.* // Astrophysical J. 1979. V.234. P.L1—L7.
7. *Churazov E., Sunyaev R., Revnivtsev M. et al.* // Astronomy & Astrophysics. 2007. V.467. P.529—540.
8. *Hudson M.J.* // Monthly Notices of Royal Astronomical Society. 1993. V.265. P.43—71.
9. *Krivonos R., Revnivtsev M., Lutovinov A. et al.* // Astronomy & Astrophysics. 2007. V.475. P.775—784.
10. *Miyaji T., Labav O., Jaboda K., Boldt E.* // Astrophysical J. 1994. V.434. P.424.
11. *Revnivtsev M., Molkov S., Sazonov S.* // Astronomy & Astrophysics. 2008. V.483. P.425.
12. *Ревнивцев М., Сюняев Р., Гильфанов М. и др.* // Письма в Астрономический журнал. 2004. Т.30. С.527—535.
13. *Courvoisier T.J.-L., Walter R., Rodriguez J. et al.* // IAUC. 2003. V.8063. P.3.
14. *Ревнивцев М., Сазонов С., Гильфанов М., Сюняев Р.* // Письма в Астрономический журнал. 2003. Т.29. С.664.
15. *Chaty S., Filliatre P.* // Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica. 2004. V.20. P.65—66.
16. *Lutovinov A., Revnivtsev M., Gilfanov M., Sunyaev R.* // arXiv, arXiv:0801.3589. 2008.
17. *Verbunt F., Zwaan C.* // Astronomy & Astrophysics. 1981. V.100. P.L7—L9.
18. *Постнов К., Куранов А.* // Письма в Астрономический журнал. 2005. Т.31. С.7—14.
19. *Revnivtsev M., Lutovinov A., Churazov E. et al.* // Astronomy & Astrophysics. 2008. V.491. P.209—217.

# Микромир живой клетки



Е.В.Киселева

За все время существования человечества космос постоянно притягивает внимание людей своей загадочностью, сложностью и бесконечностью. Параллельно с этой безграничной и пока недоступной Вселенной существует другой удивительный мир в виде микрокосмоса живой клетки. Благодаря созданию и усовершенствованию электронных микроскопов мы имеем возможность проникнуть в самые сокровенные уголки клетки и увидеть, что происходит с ее структурами, имеющими наноразмеры. Изучение ультраструктурной организации клеток позволило ученым сделать много замечательных открытий, однако наше знание о ней все еще очень ограничено. Мы предлагаем читателю заглянуть внутрь клетки и познакомиться с ее волшебным миром, невидимым простым глазу\*.

Каждая живая клетка имеет сложную организацию и выполняет определенную функцию, информация о которой закодирована в ДНК хромосом. В клетках эукариот хромосомы располагаются в ядре, отделенном от окружающей цитоплазмы полупроницаемым барьером — ядерной оболочкой. В течение многих лет мы совместно с английскими коллегами из Института раковых исследований им. Паттерсона (Манчестер, Великобритания) изучали строение яд-



**Елена Владимировна Киселева**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории морфологии и функции клеточных структур Института цитологии и генетики СО РАН. Сфера научных интересов — организация, функция и динамика внутриклеточных структур.

ра и ядерной оболочки на разных объектах. Используя высоко разрешающий автоэмиссионный сканирующий электронный микроскоп, созданный японскими инженерами (фирма «Hitachi»), нам удалось получить уникальные трехмерные изображения наружной (обращенной в цитоплазму) и внутренней поверхности ядерной оболочки, исследовать тонкое строение ядерных поровых комплексов, а также заглянуть внутрь ядра и выявить новые компоненты внутриядерного матрикса [1, 2].

Ядерная оболочка — это самый сложный мембранный компонент, точнее, мембранная система эукариотической клетки. Она состоит из наружной и внутренней мембран, ядерных поровых комплексов и ламины — сети филаментов, прилегающих к внутренней мембране ядра. Ядерная оболочка разделяет внутриклеточное пространство на два крупных компартмента — ядро и цитоплазму (рис.1). В первом (ядре) происходят репликация ДНК, транскрипция

и формирование зрелых молекул РНК, а во втором (цитоплазме) осуществляется синтез, упаковка и транспорт специфических белков. В ядерную оболочку встроены ядерные поры — самые сложные органеллы клетки, обеспечивающие пассивный (диффузный) и активный (с использованием энергии) транспорт различных молекул между ядром и цитоплазмой [3].

Количество ядерных пор в оболочке ядер разных клеток может существенно различаться. Так, в половых клетках вышних эукариот, ооцитах лягушки, их число может достигать 5 тыс. на ядро (рис.2, справа), в клетках плодовой мушки дрозофилы их немного меньше (рис.3, слева), а в клетках дрожжей, относящихся к низшим эукариотам, всего около 150 поровых комплексов на ядро (рис.3, справа). Плотность пор может меняться на разных стадиях клеточного цикла, и они циклически разбираются и вновь собираются в процессе митоза (деления клетки).

\* Фоторепортаж «Волшебные картины микрокосмоса» был опубликован в журнале «Наука из первых рук» (2008. №4).

Электронно-микроскопические исследования структурной организации ядерных пор из разных организмов показали высокую эволюционную консервативность их строения (рис.3). Несмотря на то, что ядерные поры дрожжевой клетки (~95 нм) меньше по диаметру, чем ядерные поры в ооците лягушки (~120 нм), все они проявляют двойную симметрию в центральном отделе поры и асимметрию на периферии. Со стороны цитоплазмы пора выглядит как колечко с отходящими от него микроворсинками, а внутри ядра каждая пора напоминает закрытую корзину. Уникальность этих органелл заключается в том, что они обладают еще и восьмикратной симметрией, если посмотреть на них сверху или снизу. Каждая пора имеет в своем составе четыре основных кольца (цитоплазматическое, прилегающее к нему звездчатое, центральное и внутри-

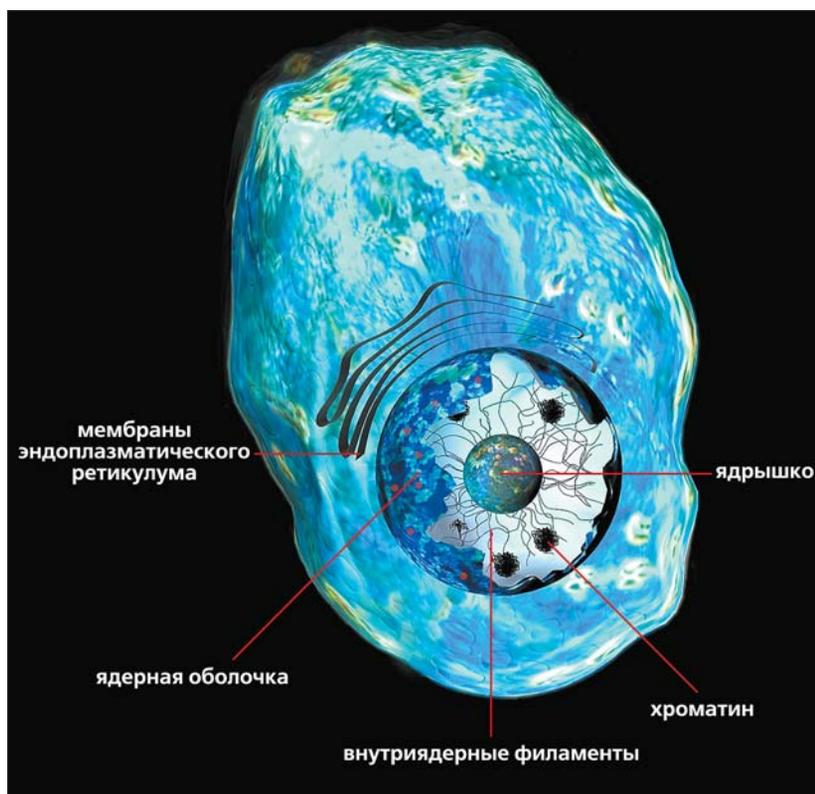


Рис.1. Упрощенная схема организации ядра эукариотической клетки.

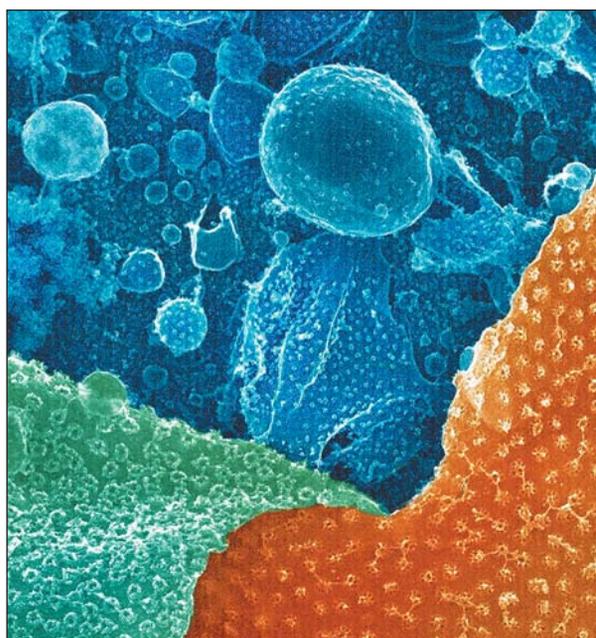
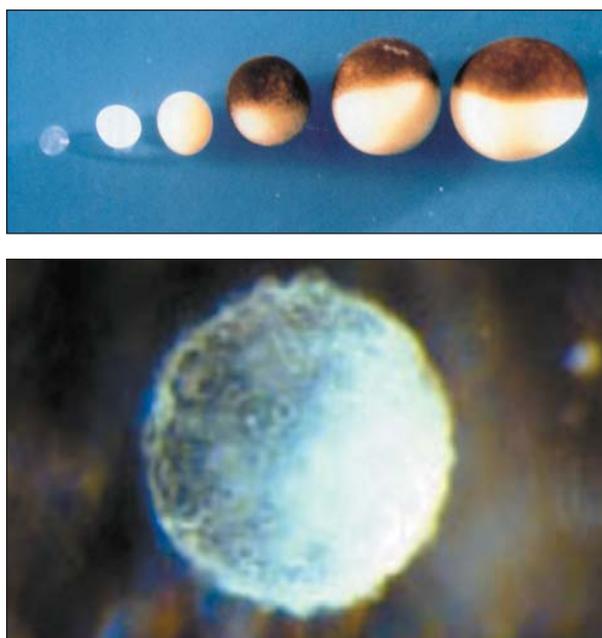


Рис.2. Ооциты лягушки на разных стадиях оогенеза (левый верхний снимок — световой микроскоп, 4-кратное увеличение); слева внизу — ядро ооцита, изолированное вручную из ооцита (световой микроскоп, 100-кратное увеличение); справа — снимок ядерной оболочки ооцита лягушки (сканирующий микроскоп, увеличение 30 тыс.). Одновременно можно видеть строение обеих мембран ядерной оболочки благодаря тому, что часть ядерной мембраны удалили с помощью стеклянных иголок. На левой части снимка — цитоплазматическая поверхность наружной мембраны с плотно расположенными ядерными порами, а на правой — противоположная сторона ядерной оболочки (ее внутренняя мембрана) с порами.

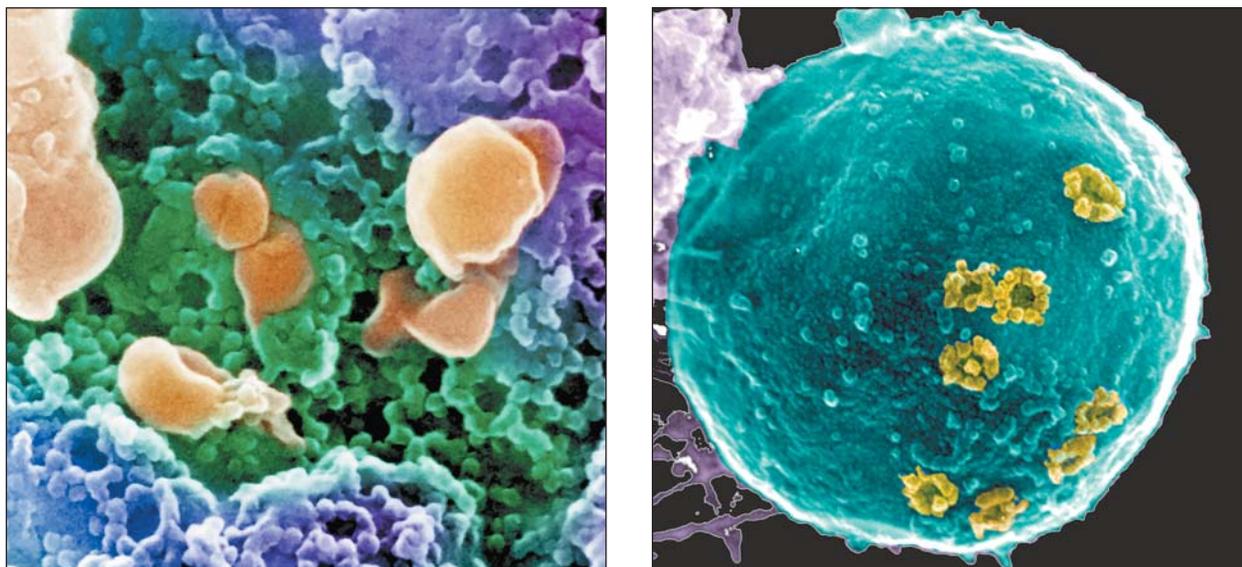


Рис.3. Снимки ядерной оболочки, демонстрирующие сходство строения ядерных пор низших и высших эукариот. Слева — фрагмент ядерной оболочки интерфазного ядра раннего эмбриона дрозофилы (вид со стороны цитоплазмы). Справа — ядро, изолированное из клетки почкующихся дрожжей. Несмотря на разный диаметр пор у низших (~95 нм) и у высших (~110 нм) эукариот, принцип организации этих органелл высоко консервативен в эволюции.

ядерное) и одно дополнительное, временно формирующееся кольцо basket-структуры. Цитоплазматическое кольцо несет на себе восемь одинаковых субъединиц, а внутриядерное — такое же число коротких, в 10 нм, фибрилл (рис.3; рис.4, вверху). До сих пор не установлено, почему ядерная пора имеет такую симметрию, однако причина ее периферической асимметрии почти выяснена. Дело в том, что basket-структура поры обеспечивает подготовку матричной РНК (мРНК) к выходу из ядра в цитоплазму [4].

Чтобы пройти через ядерную пору, каждая молекула должна иметь пропуск — специфическую сигнальную последовательность, которую узнают белки-переносчики: импортны или экспортины. Зацепив транспортируемую молекулу, они взаимодействуют с белками поры и, как по эстафете, перемещают ее через центральный канал поры. Большинство молекул проходит через пору в обоих направлениях, и только мРНК, упакованная в ядре с белками в рибонуклеопротеидную

(РНП) частицу, всегда экспортируется из ядра.

Ядерная пора — очень сложная органелла, циклически изменяющая свое строение в процессе транспорта молекул. Сканирующий электронный микроскоп позволил нам впервые сфотографировать последовательные этапы транспорта РНП-фибриллы через ядерную пору в клетке слюнной железы комара (рис.4, в середине, внизу). Поскольку диаметр центрального канала поры (~25 нм) меньше диаметра рибонуклеопротеидной частицы (в данном случае 50 нм), последняя должна развернуться в более тонкую фибриллу и переместиться в пору определенным (5') концом РНК, с которого в цитоплазме начинается трансляция.

У высших эукариот ядерные поры закреплены в оболочке с помощью трех трансмембранных нуклеопоринов и ламины. Интересно, что у дрожжей ламина отсутствует и поры могут свободно плавать вдоль ядерной оболочки. Ламина — это уникальное структурное образование, сеть из белковых нитей,

прилегающих к внутренней мембране ядра, обеспечивающая его сферическую форму. В составе ядерного матрикса она выполняет важную функцию по организации внутриядерного пространства.

Существование и организация внутриядерного матрикса до сих пор остаются загадочными для биологов. Известно, что хромосомы в ядре располагаются в строго определенных участках внутриядерного пространства, а многие процессы происходят с участием внутриядерных структур, имеющих компактную организацию. В цитоплазме такая компартиментализация различных процессов достигается наличием мембранных оболочек вокруг органелл, например митохондрий, лизосом, пероксисом. Однако ни одна из внутриядерных структур, таких как хромосомы, ядрышко или сферическое тельца (диаметром от 100 нм и выше), мембран не имеет. Можно предположить, что в компартиментализации внутриядерных процессов принимают участие компоненты внутриядерного матрикса.

До последнего времени помимо ламины к ядерному матриксу относили негистоновые белки, формирующие разветвленную сеть нитей диаметром около 12 нм, которая остается в ядре после ферментативного удаления из него ДНК и РНК.

Удивительным открытием стало выявление в ядрах клеток разных эукариот актина и миозина, важных компонентов цитоскелета, который регулирует транспорт органелл и различных молекул в цитоплазме клеток. Недавно обнаружили, что внутриядерные актин и миозин принимают участие в регуляции транскрипции и транспорта мРНК в ядре. Как же заглянуть в ядро и, сохранив его нативную организацию, увидеть внутриядерные структуры?

Чтобы осуществить задуманное, пришлось модифицировать ранее известные и придумать новые оригинальные методы для выделения ядер и их окружения из клеток [5, 6]. Приведем только один из таких методов, позволивший заглянуть внутрь почкующихся дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*). Эти небольшие (около 7 мкм в диаметре) одноклеточные эукариоты издавна используются человеком для приготовления хлеба, вина, пива и других напитков. Толстая оболочка, покрывающая клетку дрожжей, представляет большое препятствие для исследования их внутренней организации. Поэтому сначала ее удалили ферментом и получили так называемые сферопласты — клетки, окруженные тонкой плазматической мембраной. Открыть такие клетки с помощью микроманипулятора в принципе можно, но внутриклеточная организация при этом будет нарушена. Выход нашли, поместив сферопласты на поверхность буферного раствора, содержащего фиксатор, после чего их осторожно отцентрифугировали на покрытый липким веществом металлический носитель образца. При слабом соударении с поверхностью носителя сферо-

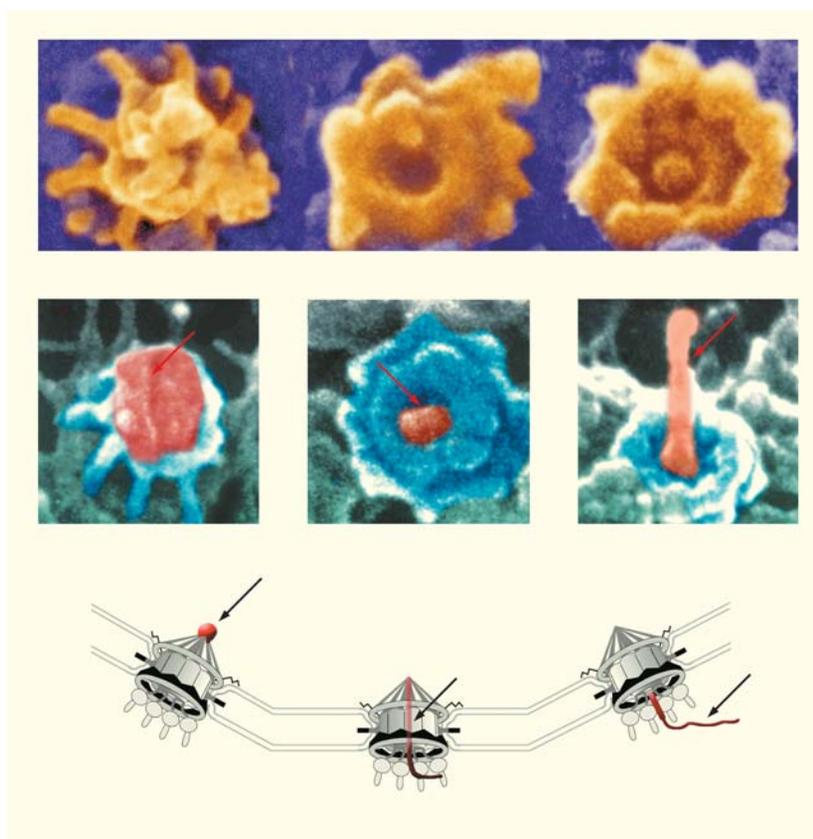


Рис.4. Транспорт рибонуклеопротеидной фибриллы через ядерную пору в слюнных железах комара. Вверху — строение трех разных компартментов неактивной ядерной поры при большом увеличении; слева направо: внутриядерный, центральный (обычно невидимый), цитоплазматический компартменты. В середине — строение тех же компартментов активно функционирующей поры, через которые последовательно перемещается РНП-фибрилла (на снимках указана красными стрелками). Внизу представлена схема этого процесса; слева направо: РНП-частица (черные стрелки) сначала закрепляется на верхушке baskets внутриядерного компартмента поры и начинает разворачиваться в фибриллу, так как размер канала ядерной поры (25 нм) меньше диаметра (50 нм) частицы. Затем фибрилла проходит через канал центрального компартмента поры и, наконец, выходит в цитоплазму.

пласты открывались, и их содержимое мгновенно фиксировалось и прилипало к поверхности (рис.5). После специфического высушивания, сохраняющего нативную организацию внутриклеточных компонентов, образцы покрывали тонким (2 нм) слоем металла и исследовали в электронном микроскопе. Поскольку на один образец при этом попадает большое количество открытых клеток, можно проводить сравнительный анализ их структурной организации.

Однако вернемся к нашему путешествию внутрь клетки. Поставив перед собой такую задачу, мы модифицировали имеющиеся методы выделения ядер и с помощью микроманипуляций и сканирующего микроскопа сфотографировали сеть актинсодержащих филаментов в растущих, неделиющихся ядрах ооцитов амфибий (рис.6). Известно, что в клетке актин существует в двух формах: в виде глобулярных субъединиц (G-актин) и актиновых филаментов (F-актин). Переход актина из одной

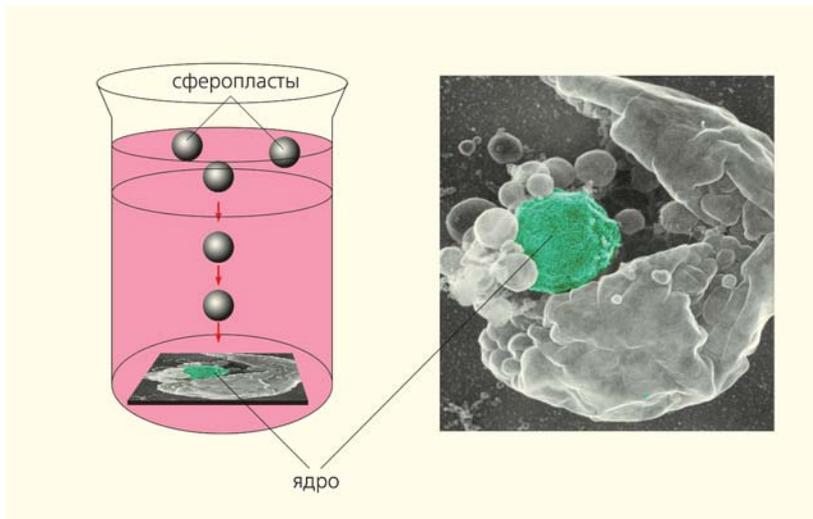


Рис.5. Схема, демонстрирующая метод выделения ядер из клеток дрожжей. При центрифугировании сферопластов, помещенных на поверхность раствора с фиксатором, они попадают на покрытый клейким веществом металлический носитель (слева) и открываются в результате соударения с его поверхностью. Содержимое клеток выделяется и мгновенно фиксируется, при этом сохраняются связи между внутриклеточными компонентами, включая ядро и мембраны эндоплазматического ретикулума (справа).

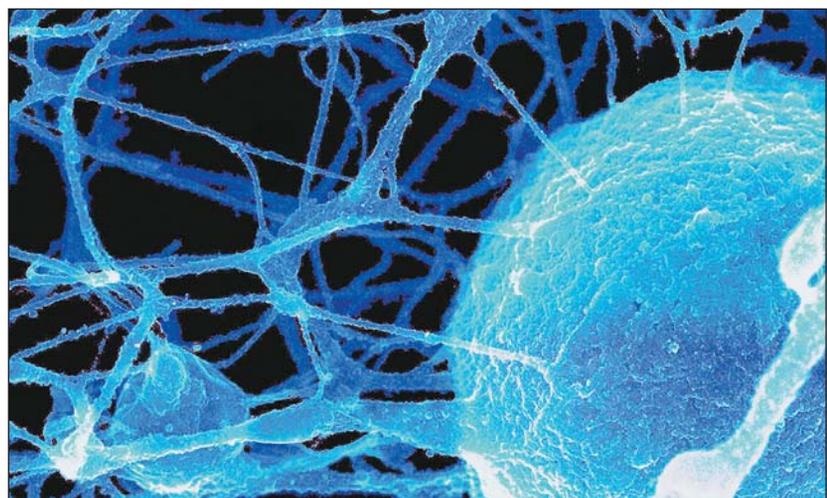
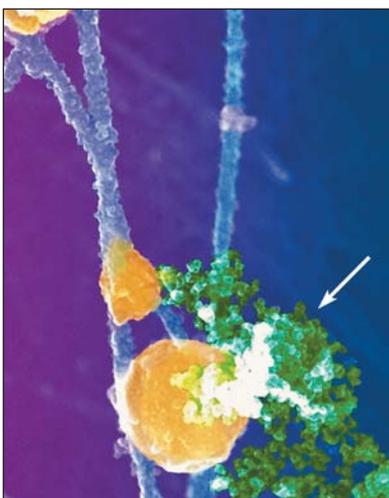
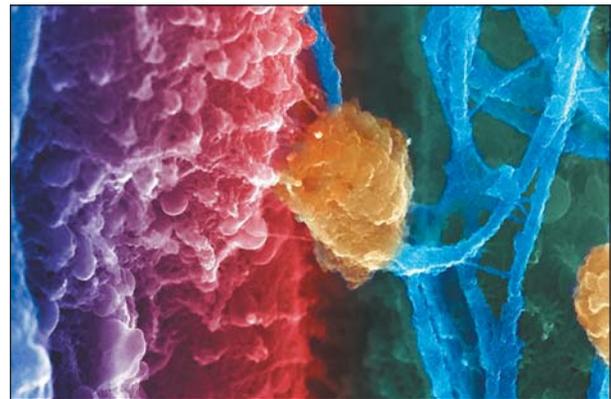
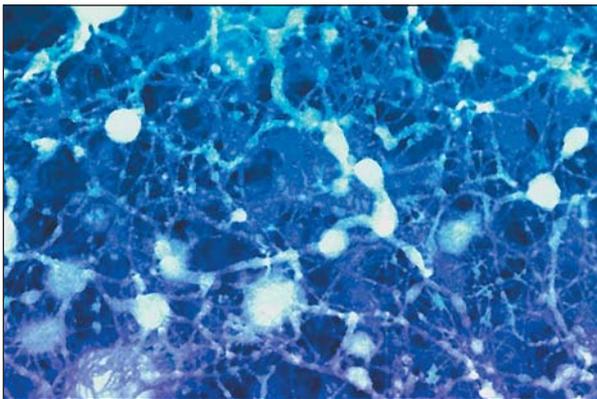


Рис.6. Актинсодержащие филаменты в ядре ооцита лягушки. Вверху слева — фрагмент содержимого ядра ооцита, сфотографированный сразу после удаления ядерной оболочки (малое увеличение); в составе желеобразного нуклеоида можно различить разной толщины филаменты и сферические тельца. Вверху справа — актинсодержащие филаменты, контактирующие с ядерными порами и сферическими тельцами; для получения этого снимка (большое увеличение) ядерную оболочку не удаляли, а только слегка отвернули ее фрагмент, сохранив контакты внутренней мембраны оболочки с внутриядерным содержимым. Внизу слева — снимок хроматина (обозначен стрелкой), контактирующего со сферическим тельцем и филаментами. Внизу справа — филаменты различной толщины контактируют с поверхностью ядрышка.

формы в другую регулируется изменением концентрации ионов  $K^+$  и  $Mg^{2+}$ . Значит, в определенные моменты эти филаменты можно увидеть в ядре, а в другое время их там не будет. Вероятно, этим и объясняется расхождение взглядов на существование внутриядерного матрикса, нити которого одни исследователи наблюдали, а другие — нет.

Актинсодержащие внутриядерные филаменты, которые видны на срезах целых ооцитов в просвечивающем электронном микроскопе, а также в сканирующем микроскопе, пронизывают внутреннее пространство ядра и контактируют практически со всеми внутриядерными структурами, включая ядерные поры (рис.5, вверху справа). Они обеспечивают связь между ядерными структурами, участвуют в организации внутриядерного пространства и, возможно, исполняют роль «рельсов», по которым перемещаются ядерные компоненты [7].

Итак, мы рассмотрели структуры, с которыми ядерная оболочка контактирует внутри ядра. А что происходит на ее цитоплазматической поверхности? Известно, что наружная

мембрана ядерной оболочки, на поверхности которой выявляются рибосомы, контактирует и может сливаться с мембранами эндоплазматического ретикулума (ЭПР). ЭПР состоит из сети связанных между собой пузырьков, цистерн и трубочек, формирующих особое внутриклеточное пространство, ограниченное от остальной части цитоплазмы замкнутой внутриклеточной мембраной. ЭПР пронизывает клетку от ее плазматической мембраны до ядра и делится на два типа: шероховатый, покрытый рибосомами, и гладкий (без рибосом). Главная функция ретикулума первого типа — биосинтез (с участием РНК и рибосом), модификация и транспортировка белков, а второго типа — синтез липидов и полисахаридов. В экспериментах *in vitro* и *in vivo* установлено, что мембраны ретикулума активно участвуют в формировании ядерной оболочки в митозе. Процесс этот довольно хорошо изучен. В анафазе митоза два типа пузырьков ретикулума, имеющих на своей поверхности специфические белки, налипают на расправляющийся хроматин и сливаются друг с другом, формируя наруж-

ную и внутреннюю мембраны ядерной оболочки. После этого в ней *de novo* через промежуточные структуры собираются ядерные поры. Однако вопрос, как образуются новые фрагменты ядерной оболочки в интерфазных или растущих неделящихся ядрах, таких как ядра ооцитов, до сих пор остается открытым.

Если посмотреть на поверхность ядра раннего ооцита лягушки (рис.7) или интерфазного ядра из ранних эмбрионов дрозофилы (рис.3, слева) в высокоразрешающий сканирующий электронный микроскоп, то, помимо ядерных пор, можно увидеть большие скопления пузырьков гладкого и шероховатого ретикулума, которые сливаются с наружной мембраной ядра. Именно в таких участках мы зарегистрировали большое количество формирующихся *de novo* поровых комплексов (рис.8). Это значит, что мембраны эндоплазматического ретикулума не просто активно участвуют, а необходимы для образования новых фрагментов ядерной оболочки и ядерных пор в растущем ядре.

Как в этом участке может сформироваться фрагмент внут-

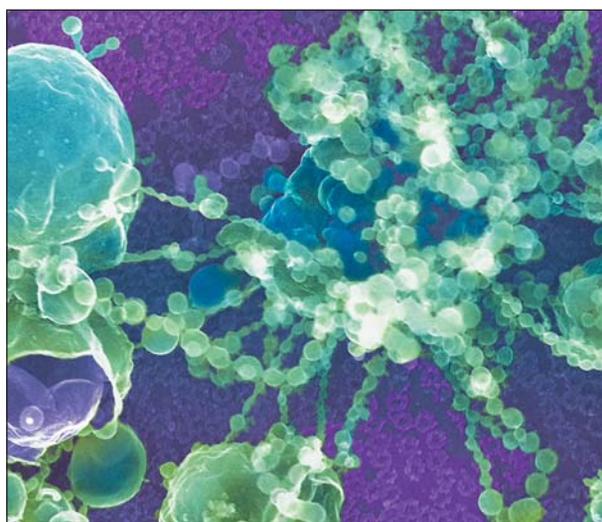


Рис.7. Эндоплазматический ретикулум на поверхности ядра, изолированного из ооцита лягушки. Ретикулум здесь представлен отдельными крупными пузырьками и цепочками из мелких пузырьков.

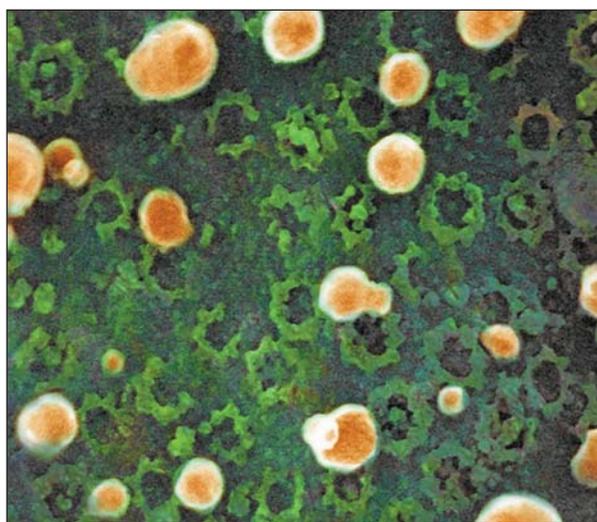


Рис.8. Ядерные поры, собирающиеся на наружной поверхности ядра растущего ооцита лягушки. Видны пузырьки ЭПР, сплавляющиеся с наружной ядерной мембраной, и промежуточные структуры ядерных пор.

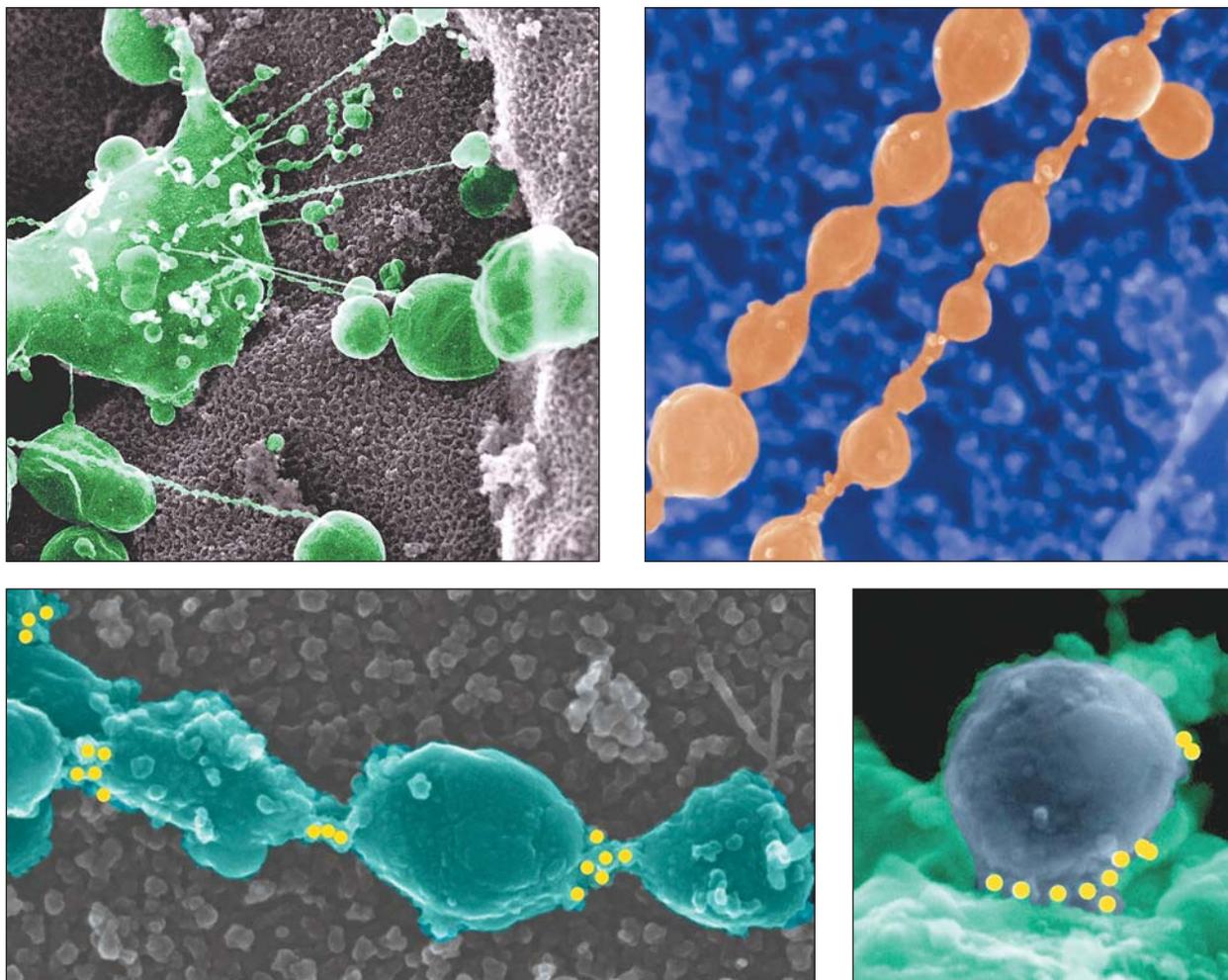


Рис.9. Различная форма мембран эндоплазматического ретикулума на цитоплазматической поверхности ядерной оболочки ооцита лягушки. Вверху слева — мембранный «спрут», формирующий тонкие выросты ЭПР, состоящие из контактирующих пузырьковидных элементов. Вверху справа — две цепочки сплавленных мембранных пузырьков вблизи ядерных пор. Внизу — специфическая локализация антител к белку ретикулону, стабилизирующему изгиб мембран ЭПР в участках сплавления соседних пузырьков.

ренной мембраны ядра, до сих пор неясно для биологов. Возможно, часть слившихся мембран ретикулума перемещается на внутреннюю поверхность ядра через ядерные поры, а затем этот фрагмент преобразуется во внутреннюю мембрану ядра. Важно отметить, что по составу она существенно отличается от наружной ядерной мембраны, больше похожей на мембраны ретикулума. Внутренняя мембрана содержит более 60 специфических белков, отсутствующих в наружной мембране ядра и участвующих в регуляции внутриядерных процессов [8]. Недавно

биологи сделали новое важное открытие: в составе обеих мембран ядра обнаружены необычные белки-неприны, как бы пересекающие ядерную оболочку. Эти белки могут связываться с внутриядерным и цитоплазматическим актинами и таким образом обеспечивать тесную связь между внутриядерным матриксом и цитоскелетом, что позволяет клетке отвечать на различные воздействия и функционировать как единое целое.

Формирование ядерной оболочки в митотическом и растущем ядре, как и многие другие внутриклеточные процессы, на-

пример эндо- и экзоцитоз, сопровождаются реорганизацией мембран и существенным изменением их кривизны, особенно в участках их контакта и слияния. Вопрос о том, как происходит и чем регулируется слияние мембран эндоплазматического ретикулума и ядерной оболочки, — один из актуальных вопросов современной биологии. Последние исследования американских ученых, а также наши эксперименты показывают, что в этом процессе может участвовать белок NogoA из семейства ретикулонов, интегральных мембранных бел-

ков, которые имеются в организме всех эукариот. Поскольку NogoA принимает участие в развитии болезни Альцгеймера (ингибирует рост аксонов в нервных клетках), исследование различных функций этого белка представляет большой интерес.

В 2006 г. американские ученые установили, что в экспериментах *in vitro* белок ретикулон NogoA способен изменять и стабилизировать кривизну мембран эндоплазматического ретикулума и превращать его компоненты в длинные узкие трубочки. Используя антитела к белку NogoA, мы впервые показали, что *in vivo* он локализуется в участках сплавления мембран-

ных пузырьков ретикулума друг с другом (рис.9), а также в участках слияния его компонентов с наружной ядерной мембраной [9]. Более того, в экспериментах *in vitro* мы обнаружили, что отсутствие этого белка блокирует сборку новых фрагментов ядерной оболочки в растущем ядре. Эти данные впервые продемонстрировали новую важную функцию ретикулона NogoA в клетке [9].

Итак, небольшое путешествие в многообразный и волшебный мир живой клетки, обогатившее наши представления о нем, стало возможным благодаря такой современной технике, как высокоразрешающий сканирующий электронный ми-

кроскоп. Могут ли что-нибудь дать для практики результаты ультраструктурного изучения процессов, протекающих в живых клетках? Кажется несомненным, что такие результаты послужат для создания новых нанотехнологических конструкций (по аналогии с организацией внутриклеточных наноструктур). Но не только. Медицина нуждается в эффективных препаратах для лечения болезней, которые вызваны неполадками в работе тех или иных структур клетки, нарушением их взаимодействия. А получить подобные средства можно только на основе знания пока еще не во всем разгаданного клеточного микромира. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 07-04-00416) и Английского фонда Wellcome Trust.**

## Литература

1. Kiseleva E., Goldberg M.W., Cronshaw J.M., Allen T.D. // Critical Rev. Eukaryot. Gene Express. 2000. V.10. P.101—112.
2. Губанова Н.В., Морозова К.Н., Киселева Е.В. // Цитология. 2006. Т.48. С.887—899.
3. Kiseleva E., Goldberg M.W., Allen T.D., Akey C.W. // J. Cell Sci. 1998. V.111(Pt.2). P.223—236.
4. Kiseleva E.V., Goldberg M.W., Daneholt B., Allen T.D. // J. Mol. Biol. 1996. V.260. P.304—311.
5. Allen T.D., Rutherford S.A., Kiseleva E. et al. // Nature Protoc. 2007. V.2. №5. P.1166—1172.
6. Kiseleva E., Allen T.D., Rutherford S.A. et al. // Nature Protoc. 2007. V.2. №8. P.1943—1953.
7. Kiseleva E., Drummond S.P., Goldberg M.W. et al. // J. Cell Sci. 2004. V.117. P.2481—2490.
8. Губанова Н.В., Киселева Е.В. // Цитология. 2007. Т.49. С.257—269.
9. Kiseleva E., Morozova K.N., Voeltz G.K., Goldberg M.W. // J. Struct. Biol. 2007. V.160. P.224—235.

# Геномика вирусов: НОВЫЙ ПОДХОД И СТАРАЯ МОДЕЛЬ

Л.Н.Нефедова, А.И.Ким

В последнее десятилетие сотни генетиков во всем мире вовлечены в так называемые геномные проекты, каждый из которых направлен на определение нуклеотидных последовательностей всех генов (генома) того или иного организма. Одними из первых были расшифрованы геномы человека, домашней мыши, нематоды *Caenorhabditis elegans* и дрозофилы *Drosophila melanogaster*, которая относится к многочисленному (около 2 тыс. видов) семейству плодовых мушек (Drosophilidae).

Генетические исследования дрозофилы позволили Т.Моргану еще в начале XX в. сформулировать хромосомную теорию наследственности. С его легкой руки плодовые мушки на долгие годы стали излюбленными лабораторными животными для изучения генетики многоклеточных организмов (эукариот). Это и понятно, для модельного объекта дрозофилы обладают важными характеристиками — малым числом хромосом ( $2n = 8$ ) и большим разнообразием мутаций, к тому же у них короткий жизненный цикл, они дают многочисленное потомство и их просто культивировать.

*D.melanogaster* — один из наиболее изученных в генетическом отношении видов — стала столь знаменита, что зачастую ее упоминают даже в биологической литературе просто по названию рода — «дрозофила» или



**Лидия Николаевна Нефедова**, кандидат биологических наук, доцент кафедры генетики биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова.

**Александр Иннокентьевич Ким**, доктор биологических наук, профессор той же кафедры.

Специалисты в области общей и молекулярной генетики, в частности сравнительной геномики человека и животных. Занимаются изучением генетической нестабильности, закономерностей и механизмов контроля транспозиций, инфекционных свойств ретротранспозонов и ретровирусов, эволюции мобильных элементов.

даже всего семейства — «плодовая мушка». Однако к роду *Drosophila* она была отнесена в свое время по морфологическим признакам, теперь же, когда прочитаны геномы 12 видов плодовых мушек (рис.1), выяснилось, что *D.melanogaster* совсем из другого рода — *Sophobora*. Тем не менее, чтобы не вносить путаницу, ее решили пока не переименовывать.

Традиционно *D.melanogaster* используется для исследований взаимодействия генов, генетических закономерностей развития, механизмов молекулярных процессов, оценки эффективности медицинских препаратов. В настоящее время, когда прочитаны геномы уже более 80 видов животных (в том числе 49 — млекопитающих) и появилась уникальная возможность

для сравнительного анализа их генов и геномов, дрозофила выбрана в качестве модели для новой области генетики — сравнительной геномики. В ее задачи входит исследование не только структуры, но и функционирования целого генома, что необходимо для решения как фундаментальных, так и прикладных задач.

Сопоставление геномов дрозофилы и человека показало, что около 60% генов, нарушение функций которых приводит к возникновению наследственных заболеваний у человека, есть и у дрозофилы. Поэтому неудивительно, что ее стали использовать для изучения болезней Альцгеймера, Паркинсона и других передающихся по наследству заболеваний человека [1].

Самый интересный факт, который обнаружился при анализе прочитанных геномов многоклеточных организмов, состоит в том, что большая их часть представлена некодирующими последовательностями ДНК, т.е. совсем не генами. Причем ее содержание возрастает с усложнением уровня организации: от 30% у дрожжей до 98.5% у человека. Роль некодирующей ДНК пока еще плохо изучена. Одни ученые полагают, что это всего лишь «мусор», накопившийся за долгие годы эволюции генома, другие отводят ей важную роль в процессах генообразования. Значительная часть некодирующей ДНК представлена мобильными элементами (транспозонами), которые, в отличие от стабильно локализованных генов, способны перемещаться и вызывать разнообразные геномные перестройки. Примечательно, что по строению и организации мобильных элементы у всех многоклеточных организмов очень похожи.

Внутригеномные перемещения (транспозиции) мобильных элементов проявляются в виде генетической нестабильности. У дрозофилы она выражена

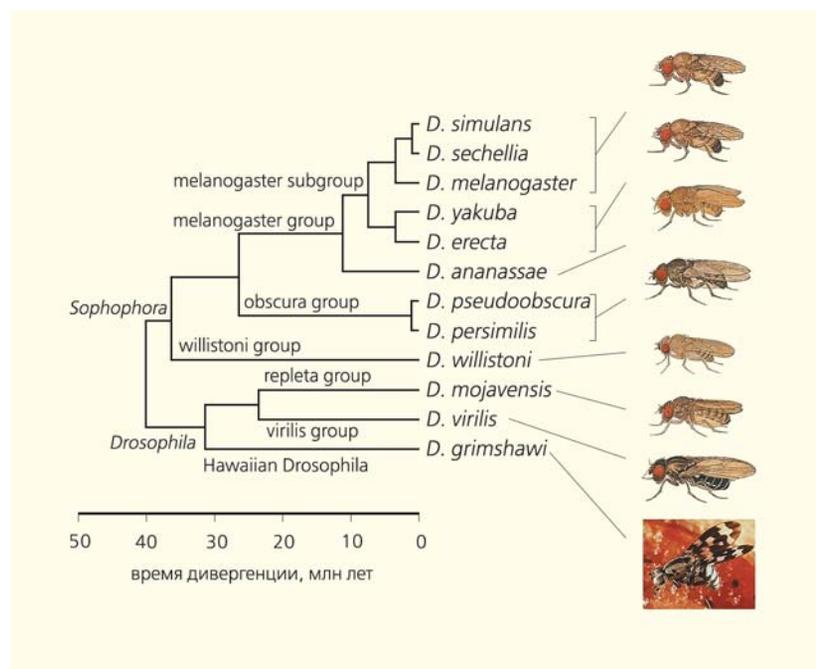


Рис.1. Филогенетическое древо плодовых мушек, геномы которых расшифрованы к настоящему времени (<http://flybase.org/>).

в увеличенной на несколько порядков частоте мутаций, в частом возникновении обратных и новых мутаций, хромосомных перестроек, а также в изменении поведенческих характеристик [2]. В целом генетическая нестабильность приводит к полной перегруппировке генома, изменению фенотипа, увеличению размаха наследственной изменчивости, смене адаптивности, темпов естественного отбора и скорости микроэволюционных процессов.

### Ретротранспозоны и ретровирусы: курица или яйцо?

Среди мобильных элементов (рис.2), различающихся по структуре и способу перемещения, особое место занимают так называемые ретротранспозоны, сходные по строению с ретровирусами, геном которых представлен не ДНК, а РНК. Приставку «ретро» (от лат. retro — обратно) они получили из-за необычного способа ре-

продукции: их воспроизводство начинается с переписывания генетической информации не с ДНК на РНК, как это происходит при обычной транскрипции, а с геномной РНК на ДНК (обратная транскрипция). В дальнейшем полученные копии ДНК встраиваются в ДНК клетки-хозяина и реплицируются, используя ее транскрипционный аппарат.

Ретровирусы привлекают к себе пристальное внимание исследователей, поскольку могут вызывать тяжелые заболевания животных и человека. К наиболее изученным относятся вирусы лейкемии птиц, мышей, кошек и приматов, а также иммунодефицита кошек, обезьян и человека. Считалось, что ретровирусы способны заражать только клетки позвоночных животных. Однако недавно в геноме дрозофилы найдены ретротранспозоны группы *gypsy* (в переводе с англ. цыган), обладающие инфекционными свойствами [3]. У этих ретротранспозонов обнаружены гены (рис.3), которые у ретрови-

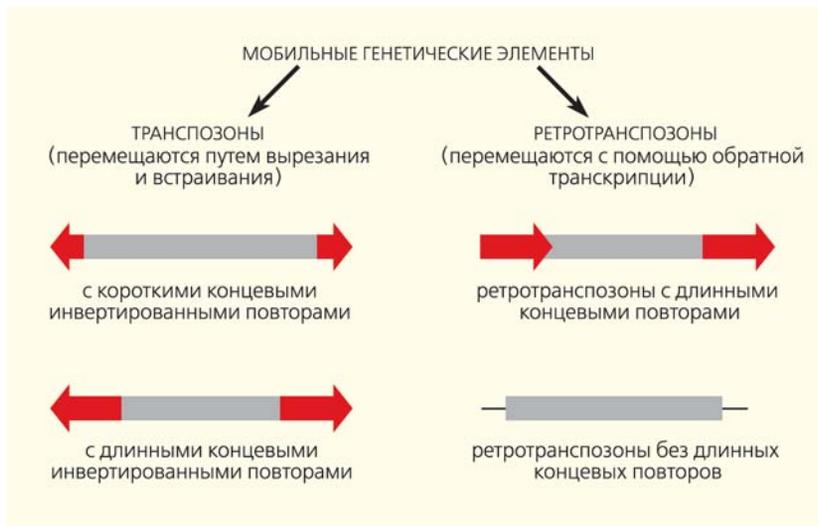


Рис.2. Классификация мобильных элементов.

русов кодируют синтез белков оболочки вирусной частицы (ген *gag*) и ферментов, регулирующих перемещение мобильного элемента (ген *pol*), а также отвечают за инфекционность (функциональный ген *env*, продукт которого обеспечивает узнавание клеточных рецепторов и проникновение вируса в клетку).

Очевидно, что мобильные элементы типа *gypsy* находятся в родстве с ретровирусами. Неясно только, какие из этих структур возникли раньше. Возможно, ретротранспозоны —

это ретровирусы, некогда внедрившиеся в эукариотический геном и потерявшие способность перемещаться либо в результате подавления (репрессии) их перемещений хозяйскими генами (возможно, ранее имевшими иные функции), либо вследствие накопления мутаций в их собственном или в хозяйском геноме.

Однако есть основания и для другой гипотезы — ретровирусы произошли от ретротранспозонов [4]. Например, известно, что ретровирусы не инфицируют клетки бактерий, в гено-

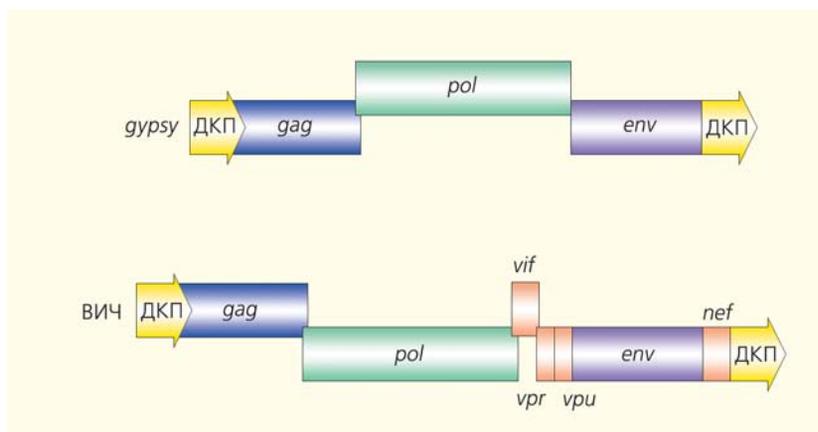


Рис.3. Структурная организация ретротранспозона *gypsy* дрозофилы и вируса иммунодефицита человека (ВИЧ). ДКП — длинные концевые повторы. Гены *gag*, *pol* и *env* характерны как для ретротранспозона, так и для ВИЧ, последовательности *vif*, *vpr*, *vpu* и *nef* — только для ВИЧ.

мах которых, тем не менее, присутствуют примитивные ретроэлементы — ретроны. Кроме того, ретровирусы (как и другие вирусы) имеют ограниченный круг хозяев, и такая их специфичность может свидетельствовать о том, что сформировались они в геноме именно того вида, который способен заражать.

Некоторые авторы предполагают, что эволюция ретротранспозонов шла по пути усложнения за счет приобретения новых свойств и генов — модулей. Согласно этой теории модульной сборки ретротранспозонов в геноме эукариот, источником новых генов мог быть геном хозяина или геном его паразитов, в том числе вирусов. К примеру, мобильные элементы группы *gypsy* могли заимствовать ген *env* у вирусов насекомых — бакуловирусов.

Недавно в геномах дрозофилы и млекопитающих обнаружены гены, имеющие сходные (гомологичные) последовательности с генами ретровирусов, и, следовательно, общее с ними происхождение [5, 6]. Проведенный анализ последовательностей гомологов генов ретротранспозонов и ретровирусов показал, что их структура и функции консервативны, т.е. не подвержены большим изменениям с течением времени. Существовали ли эти гены до возникновения ретротранспозонов или же появились в результате их деградации, неизвестно. Очевидно одно: эти гены функциональны, приспособлены организмом для работы себе во благо и вовлечены как в физиологические клеточные процессы, так и в процессы защиты от инфекции.

### Ретровирусы: уроки дрозофилы

Ретровирусы млекопитающих давно и активно исследуются. Механизмы заражения и размножения вирусов в клетках детально изучены. Однако до сих пор не найдены эффек-

тивные способы борьбы с вирусной инфекцией. Хорошей моделью для решения этой задачи может служить дрозофила. Защитные реакции ее организма на экзогенные инфекции во многом схожи с быстрым, координированным и целенаправленным ответом иммунной системы млекопитающих на вторжение патогена. Ретротранспозон-ретровирус *gypsy* может рассматриваться в этом случае как внутриклеточный паразит дрозофилы, в организме и клетках которой должны существовать механизмы, препятствующие его бесконтрольному размножению и перемещению по геному хозяина. Действительно, в обычных линиях дрозофилы, как правило, наблюдается от одной до пяти копий *gypsy* в геноме. В генетически нестабильных линиях их число возрастает, но никогда не превышает 35–40 [2]. Очевидно, в норме *gypsy* ведет себя в организме дрозофилы как обычный стабильный ретротранспозон, а при нарушениях иммунитета приобретает генетическую нестабильность и проявляет инфекционные свойства ретровируса.

Перемещения *gypsy* в геноме дрозофилы регулирует недавно обнаруженный особый ген *flamenco*. В линиях дрозофилы, несущих нормальный ген *flamenco*, перемещения этого элемента не происходят. Если же *flamenco* оказывается в мутантном состоянии, проявляется весь комплекс генетической нестабиль-

ности. Хотя механизм действия гена *flamenco* пока еще не известен, не увенчались успехом даже попытки его клонирования, не говоря уж о сложности организации района, в котором он расположен, уже сейчас совершенно ясно, что этот ген действительно контролирует транспозиции *gypsy*. Именно *flamenco* — основной компонент специфической иммунологической реакции дрозофилы к *gypsy* как к ретровирусу.

Недавно у дрозофилы обнаружен особый механизм защитной реакции против ретровирусов и ретротранспозонов: их размножение полностью прекращается в результате так называемой РНК-интерференции\* (от лат. *inter* — взаимно и *ferio* — поражать). РНК-интерференция заключается в специфическом выключении (подавлении экспрессии) гена под действием двухцепочечной молекулы РНК с гомологичными нуклеотидными последовательностями. Ранее считалось, что РНК-интерференция, обнаруженная у большинства многоклеточных организмов, служит исключительно для подавления активности генов, однако позже выяснилось, что этот механизм используется для защиты клеток от РНК-вирусов и мобильных генетических элементов.

\* За открытие РНК-интерференции американским ученым Э.Файеру и К.Мэллоу в 2006 г. присуждена Нобелевская премия. Подробнее см.: Кленов М.С. // Природа. 2007. №1. С.76–79. — *Примеч. ред.*

Учитывая, что геном дрозофилы, вероятно, содержит множество видов эндогенных ретровирусов (*gypsy* — лишь один из примеров), можно представить, насколько масштабными должны быть усилия хозяйского генома, направленные на сохранение его целостности и стабильности. В то же время совершенно очевидно, что геномы разных, даже систематически сильно удаленных, видов не изолированы друг от друга, а постоянно обмениваются компонентами, приобретая или заимствуя новые свойства. Исследования, направленные на полную расшифровку механизмов взаимодействия гена *flamenco* с ретровирусом *gypsy*, должны пролить свет на регуляцию защитного ответа на ретровирусную инфекцию у млекопитающих и человека.

Актуальность изучения ретровирусов дрозофилы, а следовательно, и ретротранспозонов, помимо перечисленных причин обусловлена еще и тем, что к классу ретровирусов относится и вирус иммунодефицита человека (ВИЧ). Он устроен принципиально так же, как и ретровирусы насекомых, и, по-видимому, имеет сходную регуляцию. Клетки насекомых, в том числе и дрозофилы, в настоящее время широко используются в качестве модельных систем для исследования механизмов ВИЧ-инфекции и защиты организма от нее, и в скором времени, по-видимому, следует ожидать новых открытий. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-04-00693.**

## Литература

1. Chan H.Y.E., Bonini N.M. // Nature. 2000. V.7. №11. P.1075–1080.
2. Kim A.I., Belyaeva E.S., Aslanian M.M. // Mol. Gen. Genet. 1990. V.224. №2. P.303–308.
3. Kim A.I., Terzian C., Santamaria P. et al. // P.N.A.S. (USA). 1994. V.91. №4. P.1285–1289.
4. Temin H.M. // Cell. 1980. V.21. №3. P.599–600.
5. Нефедова Л.Н., Ким А.И. // Журнал общей биологии. 2007. Т.68. №6. С.459–467.
6. Нефедова Л.Н., Ким А.И. // Генетика. 2009. Т.45. №1. С.30–37.

# Трение на наноуровне

А.И.Волокитин

В попытках революционизировать мир с помощью нанотехнологии важную роль играет трение. Наномасштабным устройствам, основанным на движущихся молекулярных компонентах, под силу радикальным образом изменить способы коммуникации, хранения энергии, доставки лекарств, производства компьютеров и др. Но путь этих устройств из лабораторий на рынок не близок. Удастся ли создать механически и химически устойчивые наномасштабные структуры, способные выдержать экстремальные условия внутри человеческого тела или в других агрессивных средах, где наномашинны, как предполагается, могли бы работать? Ведь потеря даже одного слоя атомов может легко привести к разрушению наномашинны!

Для нанотрибологии — науки о трении и износе на атомном уровне — последние годы оказались знаменательными. Получены впечатляющие экспериментальные и теоретические результаты. Так, для идеально гладких и атомарно чистых поверхностей при определенных условиях наблюдалось значительно большее трение, чем для шероховатых, что противоречит интуитивному представлению об определяющей роли шероховатости. Еще более удивительно то, что трение имеет место и при отсутствии непосредственного контакта — между телами, отделенными друг от друга вакуумной щелью. Экспери-



*Александр Иванович Волокитин, доктор физико-математических наук, профессор Самарского государственного технического университета и Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Член редколлегии European Physical Journal B (EPJB). Область научных интересов — физика наноструктур, нанотрибология, зондовая сканирующая спектроскопия.*

менты регистрировали трение даже между электронами в квантовых ямах и ионами в узких каналах. Можно ожидать еще больших сюрпризов по мере того, как будет совершенствоваться технология изготовления материалов на нано- и атомном уровнях.

## Многовековое трение

Трение может быть как полезным, так и вредным — эту аксиому человек освоил еще на заре цивилизации. Ведь два главных изобретения — колесо и добывание огня — связаны со стремлением уменьшить и увеличить трение. Современная трибология началась приблизительно 500 лет назад, когда Леонардо да Винчи вывел законы движения прямоугольного блока, скользящего по плоской поверхности, дав по сути первую формулировку законов трения. В 1699 г. французский физик Г.Амонтон издал первый формальный трактат о классических, макроскопических, законах трения. Он нашел, что фрикционная сила, которая сопротивляется скользящему движению между двумя поверхностями, пропорциональна перпендикулярной силе, которая прижимает поверхности друг к другу. Кроме того, сила трения не зависит от площади контакта. Кирпич, например, испытывает одно и то же трение независимо от того, какой стороной он положен на пол. Этот закон обычно объясняется тем, что на поверхности практически всегда присутствуют шероховатости. Места выступов на одной поверхности отнюдь не совпадают со впадинами на другой. Как образно выразился в начале 40-х годов один из пионеров трибологии, Ф.Боуден, «наложение двух твердых тел одного на другое подобно наложению Швейцарских Альп на перевернутые Австрийские Альпы — площадь контакта ока-

зывается очень малой». Однако при сжатии остроконечные «горные пики» пластически деформируются и подлинная площадь контакта  $A$  увеличивается пропорционально нагрузке, т.е.

$$A = \alpha F_N, \quad (1)$$

Тогда сила трения может быть записана в виде

$$F = \sigma_t A = \sigma_t \alpha F_N = \mu F_N, \quad (2)$$

где  $\sigma_t$  — фрикционное напряжение в областях контакта, а  $\mu = \sigma_t \alpha$  — коэффициент трения. Если  $\sigma_t$  не зависит от нагрузки, то от нее не зависит и  $\mu$ .

Ш.Кулон позже предложил третий закон макроскопического трения, который утверждает, что при обычных скоростях скольжения сила трения не зависит от скорости. На первый взгляд это совершенно не очевидно, так как хорошо известно: на частицу, медленно движущуюся в какой-то среде, действует сила, пропорциональная скорости. Например (согласно формуле Стокса), пропорциональна скорости сила трения, препятствующая движению сферической частицы в вязкой жидкости.

Однако Г.А.Томлинсон (1929) показал, что независящая от скорости сила трения может возникать, если при скольжении даже с очень малой скоростью в системе возникают быстрые необратимые процессы. Чтобы объяснить необратимые скачки, наблюдаемые в процессе трения, Томлинсон предложил механизм, который называется его именем. В отсутствие износа, т.е. отрыва фрагментов поверхности, трение возникает за счет создания напругий на границе раздела, энергия которых затем высвобождается в форме атомных колебаний, называемых фононами. Согласно механизму Томлинсона, они генерируются, когда механическая работа, необходимая для перемещения одной поверхности относительно другой, преобразуется в звук, энергия которого в конечном счете переходит в тепло. Томлинсон не знал ни о каком экспериментальном свидетельстве того, что такое фоновое трение действительно существует, но этот механизм трения впоследствии был подтвержден исследованиями в физике поверхности.

В середине 80-х годов был изобретен атомно-силовой микроскоп, зонд которого представляет из себя чрезвычайно острый наконечник, закрепленный на упругой консоли (кантилевере). При движении кантилевера вдоль поверхности он изгибается за счет взаимодействия острия с поверхностью. С помощью этого прибора удалось исследовать процессы трения при контакте с одиночным выступом. Было показано [1], что при сканировании поверхности острие не следует за движением кантилевера непрерывно; для мягкого кантилевера поместить острие на вершину определенного выступа не удастся. За счет этого при перемещении кантилевера вдоль поверхности с бесконечно малой скоростью острие может испытывать неожиданные необратимые скачки из-за механической неустойчивости. Эти скачки приводят к гистерезису и трению.

## С маслом скользить легче

Наверное, с доисторических времен известно, что смазанные жиром или даже просто смоченные водой поверхности скользят значительно легче. Смазка трущихся поверхностей применялась с момента зарождения техники, но только О.Рейнольдс в 1886 г. дал первую теорию смазки. Лучшей смазкой оказывается субстанция с большей вязкостью — вода проигрывает маслу. На первый взгляд это кажется парадоксом, ведь большая вязкость означает большую силу трения при скольжении слоев жидкости друг относительно друга.

Однако большая вязкость приводит ко второму эффекту. Предположим, что мы прижимаем друг к другу две поверхности, разделенные слоем жидкости. Жидкость будет выдавливаться из области контакта, однако для жидкостей с большой вязкостью это процесс длительный. Если два тела скользят друг относительно друга с достаточно большой скоростью, жидкость не успевает выдавиться и тела остаются разделенными достаточно толстой ее пленкой. Этот режим, когда трение очень мало, называется *гидродинамической*, или *жидкостной* смазкой; сила трения здесь увеличивается при увеличении скорости скольжения. Но если скорость недостаточно велика или вязкость жидкости мала, жидкость будет выдавливаться и возникнет прямой контакт между поверхностями. В этом режиме, который называется *граничной* смазкой, сила трения значительно больше (приблизительно в 100 раз) и не зависит от скорости. Итак, вязкость жидкости, используемой, например, в двигателе, должна быть достаточно велика, чтобы гарантировать возникновение гидродинамической смазки при работе двигателя с нормальной скоростью, но не экстремально большой, чтобы минимизировать трение. При запуске и остановке двигателя всегда действует граничная смазка, что должно учитываться в разработке смазок (коммерческие смазочные масла имеют добавки, улучшающие их свойства в режиме граничной смазки).

Гидродинамический режим понят достаточно хорошо, силы трения в этом случае могут быть вычислены из уравнений динамики вязкой жидкости. Напротив, по граничному режиму остаются вопросы. Эксперименты показали, что даже здесь между скользящими поверхностями присутствуют по крайней мере несколько монослоев молекул смазки. Они оказывают сильное влияние на процесс скольжения. Если вязкость служит определяющим параметром при гидродинамической смазке, она совершенно не важна при граничной, когда на первое место выходит природа непосредственного взаимодействия твердых поверхностей и молекул смазки. Именно с таким случаем мы сталкиваемся для наноструктур: из-за их малых размеров смазка легко будет выдавливаться из области контакта двух поверхностей.

## Остановиться или скользить

Один из самых общих типов трения в макро-скопическом масштабе — статическое. Это сила, требующаяся, чтобы привести покоящееся тело в движение, и она почти всегда больше, чем сила, которая нужна для поддержания движения тела. Статическое трение может зависеть в том числе и от того, как долго две поверхности были в контакте друг с другом. Близко связано с ним трение типа «прилипание-скольжение», при котором переход от статического к динамическому трению приводит к повторяющимся прилипаниям и скольжениям. Этот механизм ответственен за знакомые визжащие шумы, связанные с торможением автомобиля.

Для наглядности рассмотрим тело, которое может скользить по поверхности (рис.1). Попробуем сдвинуть его с места, потянув за трос с динамометром. При малом перемещении конца троса тело остается на месте: силы, возникающей за счет растяжения пружины динамометра, оказывается недостаточно. Обычно говорят, что на контактирующих поверхностях развивается сила трения, уравнивающая приложенную силу. Если конец троса перемещается с постоянной скоростью, сила пружины будет линейно расти со временем, пока тело остается в покое. Когда сила достигает критической величины  $F_{st}$ , называемой статической силой трения, тело начинает двигаться — либо равномерно, если сила пружины уравнивается силой трения, либо чередуя состояние покоя со скольжением. Возникновение переменного движения объясняется следующим образом. При начале движения сила динамического трения  $F_d$  меньше  $F_{st}$ , тело ускорится, пружина динамометра начнет сжиматься и ускорение сменится замедлением. Поэтому скорость сначала возрастает, а потом падает и достигает нуля, после чего все начинается сначала. Фрикционные колебания — крайне нежелательный эффект.

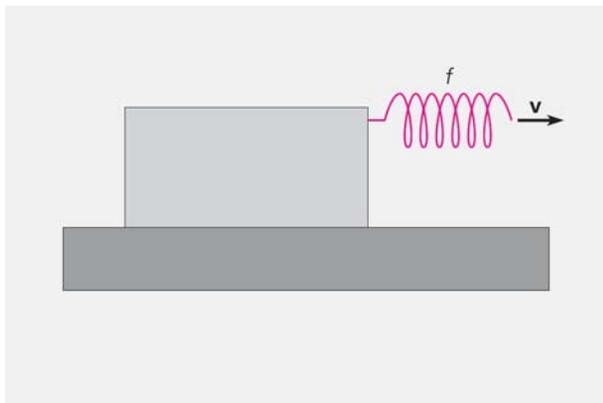


Рис.1. Блок, скользящий по гладкой поверхности. К концу блока прикреплена пружина с жесткостью  $f$ , конец которой движется со скоростью  $v$ .

Для многих устройств требуется плавное, без толчков, движение, и его достигают улучшением обработки поверхности и использованием смазочных материалов.

Для монослоев атомов, скользящих по атомарно гладким подложкам, по существу нет никакого статического трения. Действительно, трение в этих системах может быть в  $10^5$  раз меньше, чем для макроскопических смазок типа графита. Это поднимает вопросы о фундаментальных механизмах диссипации энергии, которые реализуются в системах на различных масштабах. Например, играют ли эти механизмы существенную роль в трении без износа в макроскопическом масштабе? Отсутствует ли прилипание-скольжение только при чрезвычайно низком уровне трения? В настоящее время во многих лабораториях мира полным ходом идут новые эксперименты с целью распутать эти тайны.

В 2004 г. Э.Мейер и сотрудники в Университете Базеля (Швейцария) использовали атомно-силовой микроскоп для наблюдения перехода между режимами прилипания-скольжения и непрерывного скольжения. Они изучали скольжение кремниевого кантилевера вдоль поверхности поваренной соли: изменяя силу прижатия кантилевера, добивались перехода системы в состояние с ультранизкой диссипацией энергии без механических нестабильностей или явлений прилипания-скольжения. Эти данные были успешно объяснены в рамках модели Томлинсона, что поддерживает идею о важной роли колебательных механизмов с возбуждением фононов в диссипации энергии. Но другие механические модели полностью не исключаются.

## Сверхмаслянистость откладывается

Относительная структура двух поверхностей, которые находятся в скользящем контакте друг с другом, имеет большое влияние на фонные вклады в трение. Так, трение оказывается особенно большим, когда поверхностные атомы на обеих поверхностях образуют одинаковые периодические структуры. Хотя подавляющее большинство скользящих друг относительно друга границ раздела не удовлетворяют этим условиям, трение в таких «соизмеримых» системах может быть в  $10^{10}$  раз больше, чем трение между «несоизмеримыми» поверхностями. Это связано с тем, что в «соизмеримых» системах атомы на одной поверхности могут располагаться между атомами на другой. Как показал Я.И.Френкель, чтобы сдвинуть такие структуры друг относительно друга, нужно приложить гигантское сдвиговое напряжение.

Наглядно проиллюстрировать различие между соизмеримыми и несоизмеримыми структурами можно с помощью двух расчесок. Если зубья обе-

их расчесок расположены на одинаковом расстоянии, расчески легко могут быть вдвинуты одна в другую, зубья одной расположатся между зубьями другой и возникнет сильное сцепление между ними. Если же зубья расчесок имеют различную периодичность, придется приложить значительные усилия, чтобы вдвинуть их друг в друга, и сцепление расчесок будет значительно меньше, чем в первом случае.

Ситуацию, когда фононное трение между двумя атомарно-несоизмеримыми поверхностями исключительно мало, иногда называют супермаслянистостью. Это не совсем удачный термин, так как «сопротивление» не падает до нуля, как в случае сверхпроводимости или сверхтекучести. Даже если бы фононное трение уменьшалось до нуля, очень маленькое количество энергии продолжало бы рассеиваться при скольжении за счет электронных и/или фотонных возбуждений.

В 2004 г. М. Динвибэль с сотрудниками в Лейденском университете (Нидерланды) нашли свидетельство «супермаслянистости» графита, используя специально построенный силовой микроскоп, который мог измерять силы до уровня 15 пН. Они помещали один слой атомов графита на конце вольфрамового острья и измеряли трение при его скольжении вдоль кристаллической графитовой подложки (область контакта слоя с подложкой, согласно оценкам, составляла 96 атомов). Разворачивая острье, исследователи меняли ориентацию слоя относительно поверхности подложки. Как и следовало ожидать, высокие уровни трения возникали в соизмеримых положениях, и чрезвычайно низкое трение было найдено, когда поверхности были несоизмеримы.

Лейденский эксперимент подтвердил, что механические колебания, возбуждаемые с помощью механизма Томлинсона, — фундаментальный источник макроскопического трения. Однако попытки связать коэффициенты трения на атомном уровне с макроскопическим трением наталкиваются на трудности: коэффициенты, измеренные в нанотрибологических экспериментах и в макроскопическом «триботесте», обычно отличаются на много порядков величины.

## Эйнштейн и нанотехнологии

У А. Эйнштейна помимо теории относительности и теории фотоэффекта (за которую он получил Нобелевскую премию) была и третья «золотая» работа (1905) — по теории броуновского движения. Беспорядочное движение маленьких частиц в жидкости было открыто Р. Броуном в 1827 г. и объяснено Эйнштейном флуктуациями координаты частицы под действием случайных стохастических воздействий со стороны молекул в жидкостях и газах (рис.2).

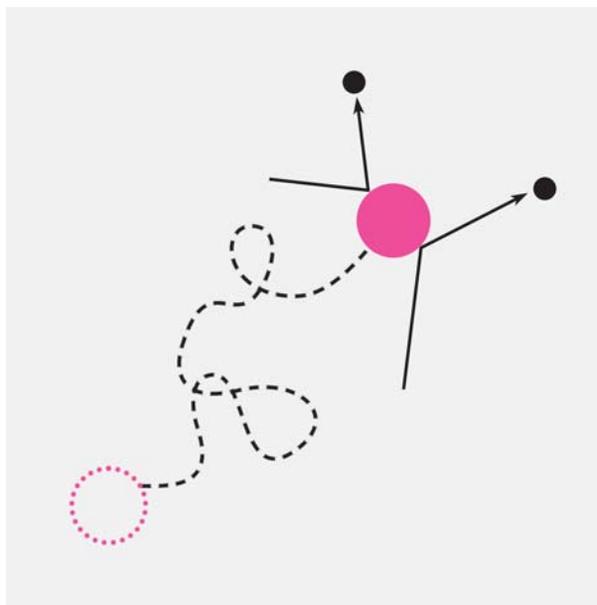


Рис.2. Броуновское движение частицы под действием стохастических воздействий со стороны молекул в жидкостях или газах.

Из теории Эйнштейна следует замечательный результат: случайная сила, которая вызывает хаотическое движение малой частицы, ответственна также за трение при движении частицы в среде. Другими словами, флуктуации положения свободной частицы в жидкости имеют ту же природу, что и диссипация энергии частицы, движущейся под действием внешней силы. Флуктуации на атомном уровне неизбежно связаны с трением, что приводит к важным следствиям в наномире. В состоянии термодинамического равновесия флуктуации положения частицы характеризуются коэффициентом диффузии, а трение движущейся частицы — мобильностью, или коэффициентом трения. До Эйнштейна эти два параметра считались независимыми, в его же теории они связаны простым соотношением пропорциональности с коэффициентом, определяемым абсолютной температурой.

Флуктуации часто изучаются путем измерения отклика системы, выведенной из термодинамического равновесия с помощью внешнего воздействия. Например, кантилевер можно отклонить из равновесного положения и затем наблюдать затухание его колебаний за счет трения между острием и образцом. Однако такой подход нелегко осуществить для наносистем. На наноуровне важную роль играют электромагнитные флуктуации, создаваемые тепловыми и квантовыми флуктуациями плотности заряда и тока внутри среды. Тепловые флуктуации обусловлены тепловыми возбуждениями, а квантовые связаны с соотношением неопределенностей Гейзенберга, согласно которому движение в квантовой системе не останавливается.

ливается даже при абсолютном нуле температуры. Флуктуации плотности заряда и тока внутри среды служат источником флуктуирующего электромагнитного поля, которое всегда существует внутри любой диссипативной среды, а вне среды распространяется в виде теплового излучения, присутствуя также у поверхности в форме неоднородных, экспоненциально спадающих, электромагнитных волн. Теория флуктуирующего электромагнитного поля была разработана С.М.Рытовым в 1953 г. [2], сейчас она находит широкое применение при изучении явлений на наномасштабе [3–5].

Е.М.Лифшиц [6] в 1955 г. использовал теорию Рытова при создании общей теории взаимодействия Ван-дер-Ваальса для систем, находящихся в термодинамическом равновесии, в рамках статистической физики и макроскопической электродинамики. В настоящее время большой интерес вызывают исследования неравновесных систем. При движении тел друг относительно друга возникает ряд неравновесных эффектов. Мы обобщили теорию Лифшица на случай движущихся друг относительно друга тел и вычислили силу трения между двумя плоскими параллельными поверхностями, двигающимися друг относительно друга с относительной скоростью  $v$  [3, 4]. Современное состояние дел в этой области науки и сравнение теории с экспериментом приведены в недавних наших обзорах [3, 4] и монографии [5].

## Трение без контакта

Бесконтактное трение между поверхностью золота и покрытым золотом острием в зависимости от расстояния  $d$ , температуры  $T$  и напряжения  $V$ , приложенного между наконечником и образцом, наблюдали Б.Стайп и др. [7]. Сила трения оказалась пропорциональной скорости  $v$ :  $F = \Gamma v$ . Для колебаний острия в плоскости поверхности было найдено:  $\Gamma(d) = \alpha(T)(V^2 + V_0^2)/d^n$ , где  $n = 1.3 \pm 0.2$  и  $V_0 \sim 0.2$  В, что при 295 К и  $d = 100$  Å составляет  $1.5 \cdot 10^{-13}$  кг·с<sup>-1</sup>. Если приложить напряжение в 1 В, трение возрастает более чем на порядок. На порядок больше бесконтактное трение и вблизи поверхности кварца, а облучение кварца  $\gamma$ -лучами, приводящее к образованию положительно заряженных оборванных связей, увеличивает трение еще на один порядок [7]. Флуктуирующая сила, ответственная, согласно соотношению Эйнштейна, за трение, интерпретировалась как результат взаимодействия флуктуирующего вблизи поверхности электрического поля со статическим зарядом острия.

При бесконтактном трении тела разделены потенциальным барьером, достаточно широким, чтобы предотвратить туннелирование через него электронов или других частиц с конечной массой покоя, но позволяющим взаимодействовать посред-

ством дальнедействующего электромагнитного поля. Подобное поле всегда присутствует в вакуумном промежутке между телами и может иметь различную природу. Так, при выходе на поверхность различных кристаллографических граней из-за разной работы выхода вблизи таких участков появляется так называемое поле пятен. Наличие атомарных ступенек, адсорбатов и других дефектов также будет давать вклад в пространственное изменение поверхностного потенциала. Наконец, между острием и образцом может быть намеренно подано напряжение. Относительное движение заряженных тел будет приводить к трению, которое уместно назвать *электростатическим*.

Кроме того, вне любого тела имеется флуктуирующее электромагнитное поле, о котором шла речь в предыдущей главке. Именно оно приводит к дальнедействующему взаимодействию Ван-дер-Ваальса между телами и ответственно за радиационную передачу тепла. Если тела находятся в относительном движении, это же самое флуктуирующее электромагнитное поле приводит к *трению Ван-дер-Ваальса*.

Напомним, что взаимодействие Ван-дер-Ваальса возникает, когда атом или молекула за счет квантовых флуктуаций приобретает спонтанный электрический дипольный момент. Короткоживущая атомная поляризация будет индуцировать дипольный момент в соседнем атоме или молекуле. В протяженных средах тепловые и квантовые флуктуации плотности тока в одном теле будут индуцировать плотность тока в другом теле: взаимодействие этих токов дает взаимодействие Ван-дер-Ваальса. Когда тела находятся в относительном движении, индуцированный ток будет немного отставать от флуктуирующего тока, который его индуцирует. Это отставание и приводит к трению Ван-дер-Ваальса. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса в основном определяется обменом между телами виртуальными фотонами, связанными с квантовыми флуктуациями, поэтому оно не исчезает даже при абсолютном нуле температуры. Напротив, трение Ван-дер-Ваальса, по крайней мере в низшем порядке теории возмущений, в приближении, линейном по скорости скольжения, порождается обменом реальными фотонами, поэтому (в этом приближении) оно исчезает при нулевой температуре.

Чтобы прояснить природу трения Ван-дер-Ваальса, рассмотрим две гладкие параллельные поверхности, разделенные достаточно широким вакуумным промежутком, рис.3. Если одно из тел испускает излучение, то в системе отсчета, в которой второе тело покоится, волны будут испытывать доплеровский сдвиг частоты, который приводит к асимметрии коэффициентов отражения. То же самое справедливо для излучения, испускаемого вторым телом. Обмен фотонами с доплеровски сдвинутыми частотами становится причиной трения Ван-дер-Ваальса.

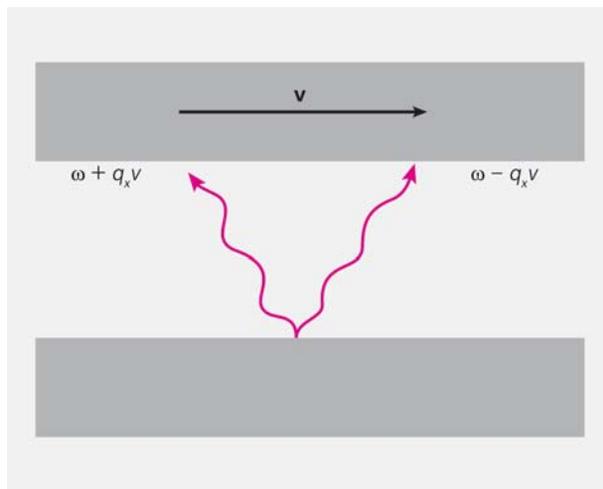


Рис.3. Механизм трения Вад-дер-Ваальса. Электромагнитные волны, излучаемые нижним телом, будут испытывать различный доплеровский сдвиг частоты в системе покоя верхнего тела. Вследствие частотной дисперсии коэффициента отражения эти волны по-разному отражаются от поверхности верхнего тела, что приводит к передаче импульса между телами. Природа трения Ван-дер-Ваальса связана с этой передачей импульса.

С точки зрения квантовой механики трение Ван-дер-Ваальса связано с процессами двух типов: (а) фотоны рождаются в каждом теле с противоположными импульсами и частоты этих фотонов связаны соотношением  $vq_x = \omega_1 + \omega_2$ , где  $q_x$  — компонента импульса, параллельная поверхности,  $v$  — скорость относительного движения; (б) фотон исчезает в одном теле и рождается в другом. Первый процесс возможен даже при абсолютном нуле температуры и приводит к силе трения, которая кубически зависит от скорости скольжения [3, 4]. Второй процесс возможен только при конечных температурах и приводит к трению, которое линейно зависит от скорости скольжения. Таким образом, процесс (б) будет давать основной вклад в трение при достаточно высокой температуре и не слишком больших скоростях.

Для чистых поверхностей металлов трение Ван-дер-Ваальса оказывается очень малым. Это связано с тем, что поверхности металлов хорошо отражают электромагнитные волны в области низких частот, поэтому электрическое поле не проникает в глубь металла, что приводит к очень малой омической диссипации энергии и, следовательно, к малому трению. Однако трение возрастает для материалов с большим сопротивлением, например для полуметаллов [3–5]. Другой механизм усиления трения Ван-дер-Ваальса связан с резонансным туннелированием фотонов между колебательными модами адсорбатов, локализованных на различных поверхностях. Мы показали [8], что резонансное туннелирование фотонов

между двумя поверхностями, отделенными друг от друга расстоянием  $d = 1$  нм и покрытыми слоем с низкой концентрацией атомов калия, приводит к увеличению трения на шесть порядков по сравнению с чистыми поверхностями. Еще большее увеличение трения Ван-дер-Ваальса происходит в случае адсорбции Cs на Cu(100). В этом случае, даже при очень низких степенях покрытиях ( $\theta \sim 0.1$ ), адсорбированный слой имеет фоновые моды колебаний, происходящих параллельно поверхности. Это означает, что адсорбированный слой может свободно скользить по поверхности. Расчеты показали [3–5]: в условиях эксперимента [7] при  $d = 10$  нм трение Ван-дер-Ваальса дает  $\Gamma_{\parallel} \approx 10^{-15}$  кг·с<sup>-1</sup>, что на два порядка меньше трения, наблюдаемого в [7] при этом же расстоянии. Однако рассчитанное трение Ван-дер-Ваальса характеризуется более сильной зависимостью от расстояния ( $\sim 1/d^{5.5}$ ) по сравнению с экспериментом ( $\sim 1/d^n$ , где  $n = 1.3 \pm 0.2$ ). Таким образом, при меньших расстояниях трение Ван-дер-Ваальса может оказаться значительно больше трения, наблюдаемого в [7] и может быть измерено экспериментально. Рис.4 показывает, как коэффициент трения зависит от расстояния  $d$  между медным острием и медной подложкой в случаях, когда поверхности острия и подложки покрыты слоем с низкой концентрацией ионов Cs, и для чистых поверхностей. Для сравнения, трение между двумя чистыми поверхностями при  $d = 1$  нм на 11 (!) порядков меньше.

Вернемся теперь к электростатическому трению. Рассмотрим металлическое острие длиной  $l$ , которое является частью цилиндра с радиусом

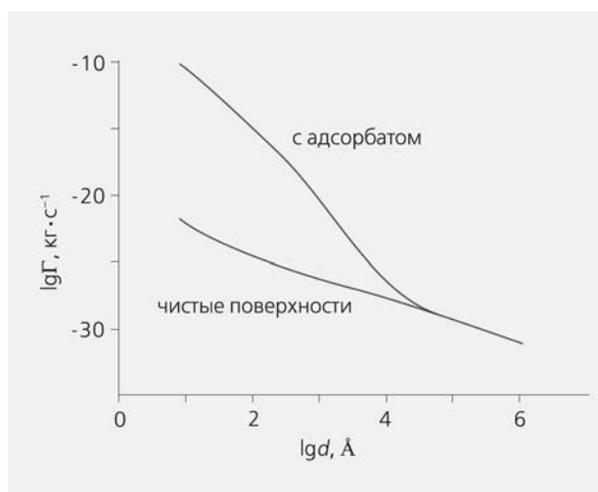


Рис.4. Коэффициент трения как функция расстояния  $d$  между медным острием и образцом, поверхности которых покрыты слоем с низкой концентрацией атомов цезия. Цилиндрическое острие имеет радиус кривизны  $R = 1$  мкм и ширину  $w = 7$  мкм. Другие параметры соответствуют адсорбции Cs на поверхности Cu(100) при покрытии  $\theta \approx 0.1$  и для чистой поверхности Cu(100).

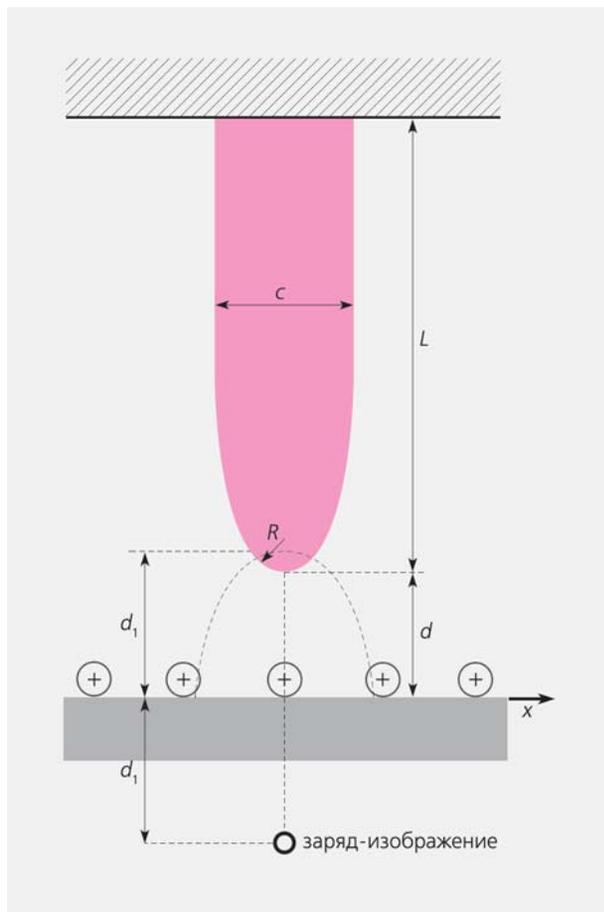


Рис.5. Схема системы острие—образец:  $l$  — длина,  $R$  — радиус кривизны закругления цилиндрического острия.

сом кривизны  $R$  (рис.5), движущееся над металлической поверхностью.

Распределение статического электрического поля в практически важном случае малых расстояний  $d$ , когда поле всего цилиндра почти такое же, что и создаваемое его нижней частью (это соответствует выполнению условия  $\sqrt{d/R} \ll 1$ ), получить нетрудно. Электрическое поле вне проводников тогда равно полю, которое бы создавалось двумя заряженными нитями, проходящими через точки  $z = \pm d_1 = \pm \sqrt{(d+R)^2 - R^2}$  [14]. Расчет [3–5] приводит к следующей формуле для коэффициента трения

$$\Gamma_{cl} = \frac{w(V^2 + V_0^2)}{2^6 \pi \sigma d^2}, \quad (3)$$

где  $\sigma$  — проводимость металла;  $w$  — ширина острия;  $V_0$  — параметр, который характеризует случайное изменение поверхностного потенциала за счет неоднородности поверхности. При  $w = 7 \cdot 10^{-6}$  м,  $\sigma = 4 \cdot 10^{17}$  ( $\sigma$  золота при 300 К),  $d = 20$  нм и  $V = 1$  В формула (3) дает  $\Gamma = 2.4 \cdot 10^{-20}$  кг·с $^{-1}$ , что, увы, на восемь порядков меньше, чем экспериментальное значение  $3 \cdot 10^{-12}$  кг·с $^{-1}$ .

Положение вновь спасают двумерные системы на поверхности, например электронные поверхностные состояния, квантовые ямы на поверхности диэлектрика или несоизмеримый слой ионов, адсорбированных на поверхности металла [13]. Анализ показывает [3–5], что двумерная структура поверх подложки дает такое же трение, что и полубесконечный образец с чистой поверхностью, но с эффективной объемной проводимостью  $\sigma_{\text{eff}} = n_a q^2 / (M \eta 2 \sqrt{2dR})$ , где  $\eta$  — коэффициент трения для адсорбированного иона,  $q$  — заряд иона,  $M$  — его масса,  $n_a$  — концентрация ионов на поверхности. Согласие с экспериментом для  $d = 20$  нм достигается при  $\sigma_{\text{eff}} \approx 4 \cdot 10^9$ . Для системы Cs/Au(100) при  $n_a = 10^{18}$  м $^{-2}$  электрический заряд ионов Cs составляет 0.28 заряда электрона  $e$ ; согласие с экспериментом здесь получается при  $\eta_1 = 10^{11}$  с $^{-1}$ . Такое значение параметра  $\eta$  может быть связано со столкновением ионов друг с другом. В этом случае  $\eta \sim v_r / l$ , где  $v_r \sim \sqrt{kT/M}$  и  $l$  — длина свободного пробега ионов, которая определяется расстоянием между ближайшими ионами. При  $T = 293$  К и  $l = 1$  нм получим  $\eta = 10^{11}$  с $^{-1}$ .

Большое трение, которое возникает в случае диэлектрической подложки со стационарным неоднородным распределением заряженных дефектов (как это наблюдалось в [7] для кварцевых образцов с положительно заряженными оборванными связями), также может быть объяснено наличием на поверхности острия адсорбированной пленки. Из проведенных исследований следует, что с помощью измерения бесконтактного трения можно определять концентрацию примесей вблизи поверхности полупроводников, что не просто осуществить другими методами.

### Даже разделенные тела связаны..

Наличие флуктуирующего электромагнитного поля приводит к тому, что тела остаются связанными даже в случае, когда они отделены друг от друга вакуумной щелью или диэлектрическим слоем. Эта связь приводит к эффекту фрикционного увлечения, очень интересному сейчас в связи с наномасштабными сенсорами. Такие сенсоры имеют громадное значение для микромеханических и биологических систем, в которых интенсивно изучаются локальные динамические эффекты.

За счет эффекта фрикционного увлечения на электроны в двумерной системе будет действовать сила увлечения при протекании тока в другой, параллельной, двумерной системе. Этот эффект, предсказанный в работах [11, 12], впервые наблюдался для двумерных квантовых ям в работе [13]. В двумерных слоях электроны могут двигаться только в направлениях, параллельных поверхности слоя.

В эксперименте две двумерные подсистемы (электронный или дырочный газы) отделились

друг от друга слоем диэлектрика, достаточно толстым, чтобы предотвратить туннелирование между слоями, но позволяющим межслойное взаимодействие между частицами (рис.6). Постоянный ток пропускаться в первом слое, в то время как второй являлся частью разомкнутой цепи. Поэтому ток не мог протекать по второму слою, вместо него во втором слое регистрировалось напряжение — появлялось электрическое поле, компенсирующее силу увлечения за счет взаимодействия с первым слоем. Эксперимент [13] показал, что по крайней мере при малых расстояниях между слоями фрикционное увлечение можно объяснить взаимодействием между электронами посредством флуктуирующего кулоновского поля.

Фрикционное увлечение другого типа наблюдалось при помещении пучка углеродных нанотрубок в поток полярной жидкости [14]. Было обнаружено, что поток жидкости индуцирует в образце напряжение в направлении потока. Ионы в жидкости не только дрейфуют со скоростью потока, но и хаотически (броуновски) движутся, что приводит к флуктуирующему электромагнитному полю. Если в поток жидкости поместить другую систему, это флуктуирующее электромагнитное поле будет порождать силу, действующую на свободные носители заряда в этой системе в направлении потока.

Весьма привлекательна идея о регистрации движения в окружающей жидкости благодаря фрикционному увлечению за счет броуновского движения ионов. Мы показали [15], что сила фрикционного увлечения, возникающая в низкоразмерной системе при помещении ее в поток полярной жидкости, может быть на несколько порядков больше, чем трение, создаваемое электрическим током. При помещении узкого канала с полярной жидкостью в широкую трубу с потоком жидкости сила фрикционного увлечения, действующая на ионы в канале, нелинейно зависит от скорости потока (рис.7). Для низкоразмерных электронных систем сила увлечения линейно зависит от скорости.

Для канала с открытыми концами сила фрикционного увлечения будет вызывать дрейф ионов в канале со скоростью  $v_a = DqE/(kT)$ , где  $D$  — коэффициент диффузии ионов,  $E$  — фрикционная напряженность (сила увлечения, действующая на единичный заряд). Положительные и отрицательные ионы будут дрейфовать в одном и том же направлении; если ионы имеют разную подвижность, их дрейф будет приводить к электрическому току, направление которого задается ионами с большей подвижностью. Для канала с закрытыми концами сила фрикционного увлечения будет приводить к изменению концентрации ионов вдоль канала. В случае ионов с разной подвижностью фрикционное напряжение также будет различным для ионов с противоположными зарядами. В результате положительные и отрицательные

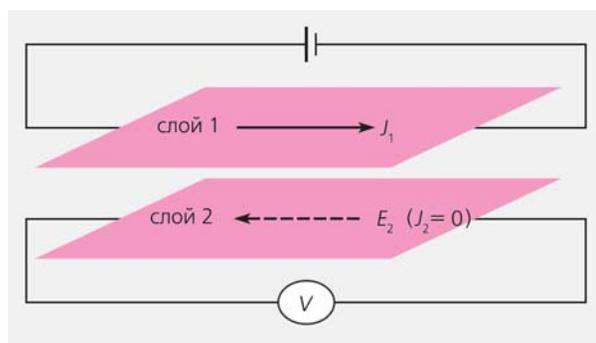


Рис.6. Схема эксперимента по наблюдению эффекта фрикционного увлечения.

ионы будут иметь разные функции распределения, что породит электрическое поле, напряженность которого может быть измерена. Кроме того, фрикционное увлечение будет приводить к разности давлений на концах канала  $\Delta p = nLeE$  ( $n$  — концентрация ионов,  $L$  — длина канала). Например, если  $n = 10^{24} \text{ м}^{-3}$ ,  $L = 100 \text{ мкм}$  и  $E = 1000 \text{ В/м}$ , то электрическое напряжение  $U = 0.1 \text{ В}$  и  $\Delta p = 10^4 \text{ Па}$ , что легко может быть измерено. Генерация электрического напряжения в канале может происходить также в случае, когда ионы одного типа закрепляются на стенках канала, а ионы с противоположным знаком распределены в жидкой фазе. В такой системе движение полярной жидкости в соседней области будет приводить к силе фрикционного увлечения, действующей на подвижные ионы в канале. В канале с закрытыми концами это фрикционное увлечение будет генерировать электрическое напряжение, которое можно зарегистрировать.

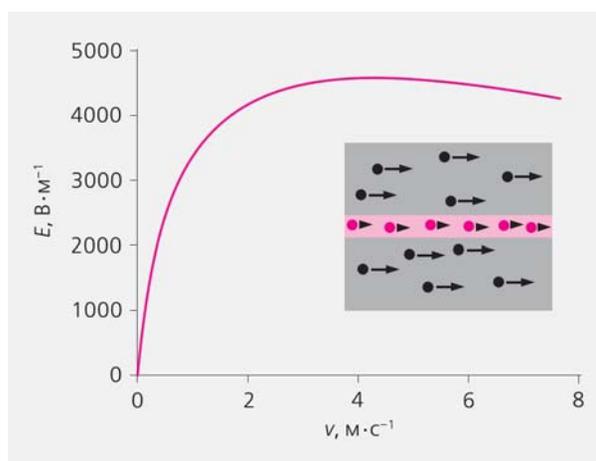


Рис.7. Напряженность электрического поля в узком канале с полярной жидкостью, помещенной в поток такой же жидкости, в зависимости от скорости потока  $v$ . Температура  $T = 300 \text{ К}$ , концентрация ионов в жидкости  $n = 10^{24} \text{ м}^{-3}$ , коэффициент диффузии ионов  $D = 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$ , диэлектрическая проницаемость жидкости  $\epsilon_0 = 80$ .

## Забегая вперед

Наномеханические системы будущего потребуют новых схем смазки на атомном уровне, чтобы преодолеть разрушительные эффекты трения; для их разработки необходимо фундаментальное понимание трения от атомарного до мезоскопических масштабов.

Проблема трения на наноуровне тесно связана со сверхчувствительным измерением сил. Так, детектирование одиночного спина с помощью магниторезонансной силовой микроскопии, перспективное для квантового компьютера, потребует уменьшения флуктуирующих сил (и, следовательно, трения) до беспрецедентного уровня. По-

иски квантовых гравитационных эффектов на коротких пространственных масштабах и будущие измерения сил Ван-дер-Ваальса также могут быть в конце концов ограничены эффектами бесконтактного трения.

Нанотехнологии ведут человечество в сказочную жизнь. И когда она станет реальностью, начало этого пути будет связано с именем Эйнштейна, который, изучая броуновское движение, установил глубокую связь между флуктуациями на молекулярном уровне и диссипацией энергии. Здесь было рассмотрено только несколько порожденных этой связью явлений. С углублением наших знаний о наноструктурах значение установленной Эйнштейном связи будет только возрастать. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 06-02-16979-а и 08-02-00141-а**

## Литература

1. *Rast S.U., Gysin U., Meyer E., Lee D.W.* // *Fundamentals of Friction and Wear on the Nanoscale* / Ed. E.Gnecco, E.Meyer. Berlin, 2007. P.437—451.
2. *Рытов С.М.* // *Теория электрических флуктуаций и теплового излучения* М., 1953.
3. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // *Review of Modern Physics*. 2007. V.79. P.1291—1329.
4. *Волокитин А.И., Перссон Б.Н.Дж.* // *Успехи физических наук*. 2007. Т.177. С.921—951.
5. *Волокитин А.И.* // *Тепловое излучение на наноуровне. Теория и приложения*. Самара, 2009.
6. *ЛиФишиц Е.М.* // *Журнал экспериментальной и теоретической физики*. 1955. Т.29. С.94—110.
7. *Stipe B.C., Mamin H.J., Stowe T.D. et al.* // *Phys. Rev. Lett.* 2001. V.87. P.096801(4).
8. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // *Physical Review Letters*. 2003. V.91. P.106101(4).
9. *Ландау Л.Д., ЛиФишиц Е.М.* // *Электродинамика сплошных сред*. М., 1978.
10. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // *Physical Review Letters*. 2005. V.94. P.86104(4).
11. *Погребенский М.Б.* // *Физика и техника полупроводников*. 1977. №.11. С.637—642.
12. *Price P.J.* // *Physica B+C*. 1983. V.117. P.750—752.
13. *Gramila T.J., Eisenstein J.P., MacDonald A.H. et al.* // *Physical Review Letters*. 1991. V.66. P.1216—1219.
14. *Gbosh S., Sood A.K., Kumar N.* // *Science*. 2003. V.299. P.1042—1044.
15. *Volokitin A.I., Persson B.N.J.* // *Physical Review B*. 2008. V.77. P.033413(4).



# Стратегический ресурс водоснабжения

О.А.Каримова, И.С.Зекцер

В последнее время все больше и больше появляется статей, посвященных уникальному природному феномену — подземным водам. И это не случайно. Рост народонаселения планеты, увеличение техногенной нагрузки на окружающую среду, и в первую очередь на подземные воды, нерациональное и неразумное их потребление способствуют ухудшению качества пригодной для питья воды, а нередко и полностью выводят водоносный горизонт из эксплуатации. Недостаток в пресной воде ощущается примерно на 60% всей площади суши Земли. Во многих странах водный фактор начинает тормозить развитие промышленного и сельскохозяйственного секторов экономики. Кроме того, ухудшение качества воды сказывается на состоянии здоровья населения. Рациональное использование окружающей среды и подземных вод как компонента окружающей среды остается актуальной проблемой современности.

## Надежный источник водоснабжения

Подземные воды занимают особое место среди природных богатств Земли. Тысячелетиями у людей складывалось представление о них как о неиссякаемом природном ресурсе [1]. По сравнению с поверхностными они



**Ольга Алиевна Каримова**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории региональных гидрогеологических проблем Института водных проблем РАН. Занимается вопросами охраны подземных вод и оценкой естественных ресурсов пресных подземных вод.



**Игорь Семенович Зекцер**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий той же лабораторией. Область научных интересов — взаимодействие подземных и поверхностных вод, оценка ресурсов подземных вод. Лауреат Государственной премии СССР (1986).

более качественны по составу, защищены от загрязнения и заражения, меньше подвержены сезонным и многолетним изменениям климата, равномерно распределены по территории (часто подземные воды имеются там, где поверхностные отсутствуют). Важен и экономический аспект: ввод в действие водозаборов может идти постепенно, по мере роста потребности. Строительство же крупных гидротехнических сооружений на реках требует значительных единовременных затрат. Одна из особенностей подземных вод, в отличие от прочих ископае-

мых, — возобновляемость в процессе общего круговорота влаги. Более того, при эксплуатации они не только расходуются, но часто и дополнительно формируются. Этот кажущийся парадокс вызван усилением питания их на поверхности и уменьшением испарения грунтовых вод.

Еще одна характерная черта подземных вод — подвижность и тесная взаимосвязь с окружающей средой. С одной стороны, они находятся в постоянном взаимодействии с вмещающими горными породами, а с другой — связаны с реками, морями, ландшафтами, растительностью.

## Компонент окружающей среды

Подземные воды находятся в тесной взаимосвязи с остальными компонентами окружающей среды (атмосферными осадками, реками, озерами и другими водными объектами, флорой и фауной). Существуют многочисленные примеры, характеризующие такую взаимосвязь [2]. Поскольку питание водоносных горизонтов происходит в основном за счет осадков из атмосферы, ее загрязнение ведет к загрязнению пресных подземных вод, что в дальнейшем делает их непригодными для использования населением. В местах разгрузки подземных вод через донные отложения в реках наблюдается бурный рост флоры и массовое скопление фауны. Это объясняется интенсивным кислородным обменом между поверхностными и подземными водами, а также формированием комфортного температурного режима, необходимого для развития водных экосистем. Наличие выходов подземных вод на поверхность в виде родников в пустынях способствует формированию буйной растительности. Разгрузка подземных вод в моря и океаны оказывает существенное влияние на гидрохимический, гидробиологический и температурный режим морской воды.

Подземные воды принимают активное участие и в формиро-

вании ландшафтов. Это проявляется в образовании карстовых воронок и провалов, возникающих непосредственно в результате растворения подземными водами карбонатных пород, а также при нерациональном и неразумном водоотборе в карстовых районах и утечках из коммунальных сетей в крупных городах. Примеров такого негативного влияния подземных вод множество.

В Гватемале в результате воздействия подземных вод и дождей образовался огромный провал. Погибло несколько человек и уничтожено с десяток домов.

Еще один процесс, возникающий в результате деятельности подземных вод, — суффозия. При выщелачивании (растворении) и выносе грунтовыми и просачивающимися сверху водами мелких минеральных частиц на поверхности почвогрунтов образуются просадочные блюдца, впадины, воронки.

Процессы суффозии широко распространены в районах карбонатных и солосодержащих отложений, а также в многолетнемерзлых почвогрунтах, где интенсивны потоки надмерзлотных вод. Негативная роль суффозионных процессов выражается в выведении из использования земель сельскохозяйственного назначения, нарушении дорожных полотен, разрушении нефте- и газопроводов.

Подземные воды могут вызы-

вать, осадку грунтов под инженерными сооружениями. Так, заболачивание происходит главным образом вблизи крупных водохранилищ (Горьковского, Куйбышевского, Чебоксарского, Саратовского и многих других).

Подземные воды затрудняют и проведение горных работ. Приток их в шахты и туннели может не только приостановить проходческие работы, но и полностью вывести подземные сооружения из строя. Такая ситуация складывается на ряде шахт в Тульской обл., где в результате непрерывного поступления подземных вод из эксплуатации выведено несколько угольных шахт.

Однако не следует думать, что своим вмешательством в природную среду человек сам не провоцирует возникновение негативных последствий. Интенсивный отбор подземных вод для снабжения г.Хьюстона (США) вызвал значительное проседание земной поверхности. А использование подземных вод на орошение земель в аридных регионах способствует интенсивному засолению земель. Кроме того, большинство стран мира сталкивается с проблемой сверхэксплуатации, когда в результате интенсивной откачки подземных вод происходит «сработка» водоносного горизонта, что ведет к его истощению и осушению, а на его восполнение потребуются долгие годы. Нерациональный от-



Карстовый провал в Гватемале [6].

бор подземных (и особенно грунтовых) вод способствует существенному понижению их уровня, что приводит к гибели растительности и сокращению речного стока. Интенсивная откачка подземных вод в береговых зонах вызывает интрузию морских вод, что также на значительное время выводит питьевой горизонт из эксплуатации.

### Важнейшее полезное ископаемое

Можно приводить много примеров негативного «отклика» подземных вод на нерациональное их использование, однако следует отметить, что подземные воды по сей день остаются самым важным полезным ископаемым.

Запасы подземных вод в мире составляют свыше 60 млн км<sup>3</sup>. В зоне активного водообмена (от поверхности примерно до глубины 800 м) их содержится около 4 млн км<sup>3</sup> [3]. Такие большие объемы воды на планете создают впечатление ее изобилия и неисчерпаемости. Но это не совсем так. Современное потребление этого драгоценного природного ресурса достигает 3500 км<sup>3</sup>/год, т.е. на каждого жителя планеты приходится по 650 м<sup>3</sup> воды, в то время как для удовлетворения физиологических потребностей человека достаточно всего 2.5 л в день (0.9 м<sup>3</sup> в год), но и это мизерное коли-

чество имеют не все. Около 60% общей площади суши на Земле приходится на зоны, в которых нет достаточного количества пресной воды. Четвертая часть человечества ощущает ее недостаток, а еще свыше 500 млн жителей страдают от недостатка и плохого качества питьевой воды. Уже давно воду ввозят в Саудовскую Аравию и Кувейт. Гонконг и Сингапур получают питьевую воду из Китая и Малайзии. На привозной воде живет Алжир. Египет уже сейчас использует 97% своих водных ресурсов, хотя расход воды на одного человека составляет всего 40 м<sup>3</sup>/год, что в 60 раз меньше потребления воды жителями Великобритании. Традиционно бедны водой и многие крупные города мира, вынужденные нормировать ее потребление. В развитых странах на каждого жителя приходится в среднем 200–300 л воды в сутки, причем в городах — 400–500 л (включая расходы промышленности и городского хозяйства). Например, в Нью-Йорке — более 1000 л, в Париже — 500 л, в Москве — 600–700 л, в Санкт-Петербурге — 450 л. В Дании, Бельгии и Финляндии из подземных ресурсов берут 90% воды, в Голландии и Марокко — 70%. В некоторых районах земного шара подземные воды сильно истощены. В Калифорнии за 20 лет их уровень понизился на 30 м.

По континентам водные ресурсы распределены также не-

равномерно. Азия из-за большой численности и высоких темпов прироста населения попадает в число самых бедных водой континентов (в расчете на одного жителя). Многие страны Юго-Западной и Южной Азии, а также Восточной Африки сталкиваются с серьезной нехваткой воды, что не только ограничивает развитие сельского хозяйства и промышленности, но в некоторых случаях приводит даже к политическим конфликтам.

### Ресурсы пресных подземных вод России

Ресурсы подземных вод России распределены по территории страны весьма неравномерно (табл.1). Наиболее обеспечены северные и восточные районы, но они экономически менее развиты и менее заселены. Значительно ниже водообеспеченность территории европейской части России и республик Средней Азии, хотя именно там проживает более 70% населения СНГ и сконцентрирован главный промышленный и сельскохозяйственный потенциал.

На территории России находится самое крупное в мире природное подземное хранилище воды. Это Западно-Сибирский артезианский бассейн, площадь которого достигает 3 млн км<sup>2</sup>, что почти в восемь раз превышает площадь Балтийского моря. Расход воды в расчете на одного

Таблица 1

Прогнозные ресурсы, эксплуатационные запасы и добыча подземных вод по федеральным округам Российской Федерации за 2004–2006 гг. [4]

Федеральный округ	Прогнозные ресурсы, тыс. м <sup>3</sup> /сут(%)	Эксплуатационные запасы, тыс. м <sup>3</sup> /сут			Добыча и извлечение подземных вод, тыс. м <sup>3</sup> /сут		
		2004 г.	2005 г.	2006 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
<b>Российская Федерация</b>	<b>869055(100)</b>	<b>90865.3</b>	<b>91679.0</b>	<b>92484.6</b>	<b>31157.4</b>	<b>30429.0</b>	<b>29789.4</b>
Центральный	74055(8.5)	26676.7	26676.7	27445.6	9509.9	9380.3	9332.8
Северо-Западный	117704(13.5)	4635.9	4691.9	4902.0	1823.1	1830.2	1742.1
Южный	39849(4.6)	15682.7	15690.8	15715.2	4345.2	4098.8	3895.7
Приволжский	84738(9.8)	15975.4	16026.2	16175.4	5537.0	5412.7	5084.9
Уральский	142575(16.4)	5681.8	5783.6	5801.6	2915.1	2835.6	2843.1
Сибирский	250902(28.9)	15155.5	15373.4	15399.5	5521.5	5418.0	5548.1
Дальневосточный	159232(18.3)	7057.3	7076.7	7045.3	1505.6	1453.4	1345.7

человека в нашей стране составляет от 125 до 350 л/сут [4, 5].

Степень разведанности прогнозных ресурсов подземных вод составляет 10.5%, а степень использования — 2.8%. Основная часть ресурсов, пригодных для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения, приходится на бассейны платформенных структур: Среднерусский — 91.8 млн м<sup>3</sup>/сут (10.5%), Восточно-Русский — 73.0 (8%), Западно-Сибирский — 194.7 (22.3%), Ангаро-Ленский — 46.8 (5.4%) и горно-складчатых областей: Алтае-Саянский — 64.7 (7.4%), Байкальский — 29.8 (3.4%), Большеуральский — 37.8 (4.3%).

Как видно из табл.1, отмечается тенденция к уменьшению добычи подземных вод, что связано с отказом мелких потребителей от использования крупных централизованных водозаборов и переходом на рассредоточенное извлечение подземных вод, с уменьшением потерь при транспортировке, а также с более экономным использованием.

В табл.2 показано, что отбор подземных вод на хозяйственно-питьевое снабжение населения плавно уменьшается, в то время как использование их на технические нужды увеличивается.

Увеличение промышленного расхода воды связано не только с быстрым развитием промышленности, но и с ростом водоемкости производства. Так, например, на производство 1 т синтетического волокна расходуют 2500—5000 м<sup>3</sup> воды, на 1 т синтетического каучука — 2000 м<sup>3</sup>. Водоемка и цветная металлургия: на выплавку 1 т никеля требуется

4000 м<sup>3</sup> (для сравнения: на производство 1 т чугуна идет в 20 раз меньше, около 200 м<sup>3</sup> воды).

Кроме того, в районах разработки крупных месторождений полезных ископаемых наблюдается загрязнение верхних водоносных горизонтов отходами добычи и обогащения черных металлов, утечками из хвостохранилищ, карьерными высокоминерализованными водами. В подземных водах повышаются концентрации азотистых соединений, железа, марганца, нефтепродуктов и др. На таких участках отмечается развитие депрессионных воронок, что вызывает сработку горизонта подземных вод и в дальнейшем полное его осушение. Разработка месторождений полезных ископаемых, шахтный и карьерный водоотлив, складирование отвалов горных пород, ликвидация горных выработок также приводят к формированию депрессионных воронок, переориентации потока подземных вод, осушению водоносных горизонтов, образованию провалов и проседаний земной поверхности (например, в г.Копейске Челябинской обл.). Кроме того, может происходить подтопление застроенных территорий (Кизилковский, Челябинский, Минусинский, Иркутский, Донецкий, Печорский и другие угольные бассейны). Наиболее крупные по площади депрессионные воронки наблюдаются в Печорском угольном бассейне (около 400 км<sup>2</sup>), на Курской магнитной аномалии (до 250 км<sup>2</sup>), в Иркутском угольном бассейне, в пределах Подмосковного бурогоугольного бассейна в Тульской обл.

Для снижения негативного воздействия добычи твердых полезных ископаемых необходимы своевременная рекультивация отработанных участков и отвалов, соблюдение технологии взрывных работ, ведение объектного мониторинга состояния недр, в том числе контроля за качеством сбрасываемых в гидросеть дренажных вод и за распространением депрессионных воронок при водоотливе. Так, в связи с сокращением добычи полезных ископаемых, ликвидацией и затоплением шахт, а также в результате уменьшения шахтного водоотлива происходит восстановление уровня подземных вод со скоростью от 0.2—0.3 (Подмосковный бурогоугольный бассейн) до 2.5—4.1 м/год (Кизеловский угольный бассейн).

Еще одна проблема в использовании подземных вод связана с их загрязнением в процессе эксплуатации. Кроме того, может происходить подтягивание загрязненных вод из верхних водоносных горизонтов и, напротив, поступление некондиционных вод из глубоких водоносных горизонтов. Источники загрязнения связаны в основном с районами интенсивной хозяйственной деятельности. С крупных сельскохозяйственных массивов, навозохранилищ животноводческих комплексов и птицефабрик в подземные воды поступают органические и минеральные удобрения, пестициды, патогенные бактерии и паразиты. В районах интенсивной промышленной деятельности, а также вблизи накопителей промыш-

**Таблица 2**  
**Структура использования подземных вод в 2004–2006 гг. [4]**

Вид использования	Объем использования, тыс. м <sup>3</sup> /сут(%)		
	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Хозяйственно-питьевое водоснабжение	18699.0(73.4)	18354.3(74.9)	16925.8(71.2)
Производственно-техническое водоснабжение	6180.8(24.2)	5508.7(22.5)	6310.0(26.6)
Орошение земель и обводнение пастбищ	607.6(2.4)	636.6(2.6)	520.4(2.2)
<b>Всего</b>	<b>25467.4(100)</b>	<b>24499.6(100)</b>	<b>23756.2(100)</b>

ленных и бытовых отходов в подземных водах отмечаются тяжелые металлы, свинец, ртуть, кадмий, фенолы и др.

### Мероприятия по уменьшению негативного влияния подземных вод

Говоря о негативных последствиях воздействия подземных вод, нельзя не упомянуть о мероприятиях, приводящих к уменьшению таких воздействий. В первую очередь это водотлив, осушение месторождений, организация дренажа вокруг сооружений, подвергающихся подтоплению. Необходимо и постоянный мониторинг подземных вод, направленный на изучение их влияния на все компоненты окружающей среды; контроль качества пресных питьевых вод в условиях интенсификации техногенной нагрузки; охрана источников подземных вод от загрязнения. При разведке новых месторождений подземных вод необходимо проводить прогноз последствий, которые могут возникнуть в результате эксплуатации водоносных горизонтов. При проектировании строительства, разработке мероприятий по предупреждению и ликвидации засоления и заболачивания территорий должен составляться прогноз водно-солевого режима. При большом потреблении подземные воды пополняют искусственным путем во время половодья или паводков. Для этого существуют спе-

циальные технические приемы, основанные на фильтрации воды в грунт.

Учитывая растущее загрязнение поверхностных вод, каждый город должен иметь основной или дополнительный источник снабжения из пресных подземных вод высокого качества. И тогда не потребуются многие чрезмерно дорогие и экологически опасные гидропроекты (например, переброска вод северных рек).

Изложенное выше позволяет сформулировать основные теоретические и практические задачи исследования:

- разработка методов прогноза ресурсов и качества подземных вод в условиях интенсификации хозяйственной деятельности и возможных изменений климата;

- создание теории и методологии прогнозов негативных последствий, вызванных техногенным воздействием на подземные воды;

- установление природоохраняющих ограничений интенсификации отбора;

- совершенствование методов оценки защищенности вод от загрязнения; создание моделей, направленных на изучение процессов подземного водообмена суши и моря, а также повышение использования поверхностных вод;

- внедрение природоохраняющих критериев, определяющих допустимое влияние отбора подземных вод на другие компоненты окружающей среды, а также предельное воздействие техногенной деятельности на ресурсы и качество воды;

— разработка принципов ведения мониторинга подземных вод в различных природно-климатических и антропогенных условиях.

\* \* \*

Подземная вода занимает особое место среди природных богатств Земли. Она незаменима. Вода необходима во все времена и всюду, где существует жизнь. Подземные пресные воды всегда были и остаются самой ценной частью мирового запаса пресных вод. Их надо разумно расходовать, беречь от загрязнения и, если потребуются, искусственно восстанавливать. Только при комплексном учете аспектов взаимодействия подземных вод с другими компонентами окружающей среды могут быть разработаны долгосрочные программы их рациональной эксплуатации и охраны.

Для человека важно не только количество питьевой воды, но и ее качество. Своим вмешательством человек постоянно нарушает установленное природой равновесие, и, очевидно, до тех пор пока закономерность этого равновесия не будет установлена, путь в подземные кладовые пресной воды для ее масштабного использования будет закрыт. В заключение хочется привести слова выдающегося русского ученого академика В.И.Вернадского: «Природная вода охватывает и создает всю жизнь человека. Едва ли есть другое природное тело, которое бы до такой степени определило его общественный уклад, быт, существование» [7]. ■

### Литература

1. Зекцер И.С. Подземные воды — источник водоснабжения // Вестник РАН. 2000. Т.70. №12. С.1069—1072.
2. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М., 2001.
3. Зекцер И.С. // Наука в России. 2002. №2. С.6—11.
4. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2004 г., в 2005 г., в 2006 г. ФГУП «Гидроспецгеология». Вып.28. М., 2005; Вып.29, М., 2006; Вып.30, М., 2007.
5. Подземные воды мира: ресурсы, использование, прогноз / Под ред. И.С.Зекцера. М., 2007.
6. <http://www.374.48/index.php?x=2007-11.-09-51ml>
7. Вернадский В.И. История минералов земной коры. Т.2: История природных вод. Ч.1. Вып.1—3. Л., 1933—1936.

# Метаногенез и глобальные климатические процессы

И.Н.Лыков, С.А.Сафронова, М.И.Морозенко, Г.В.Ефремов

**Н**а нашей планете метан — наиболее распространенный углеводород. Согласно теории Опарина—Холдейна, он был одним из основных компонентов формирования первичных органических молекул (пробионтов). Этот газ оказывал и оказывает значительное влияние на глобальные биоэкологические процессы. Так, около 2.5 млрд лет назад он предотвратил глобальное замерзание Земли. И в наше время метан играет заметную роль в формировании климатических процессов. Этот очень устойчивый газ не вовлекается в глобальные круговороты, не разрушается под действием ультрафиолетовых лучей Солнца и длительное время сохраняется в нижних слоях тропосферы. Его время жизни в атмосфере колеблется от 5 до 10 лет.

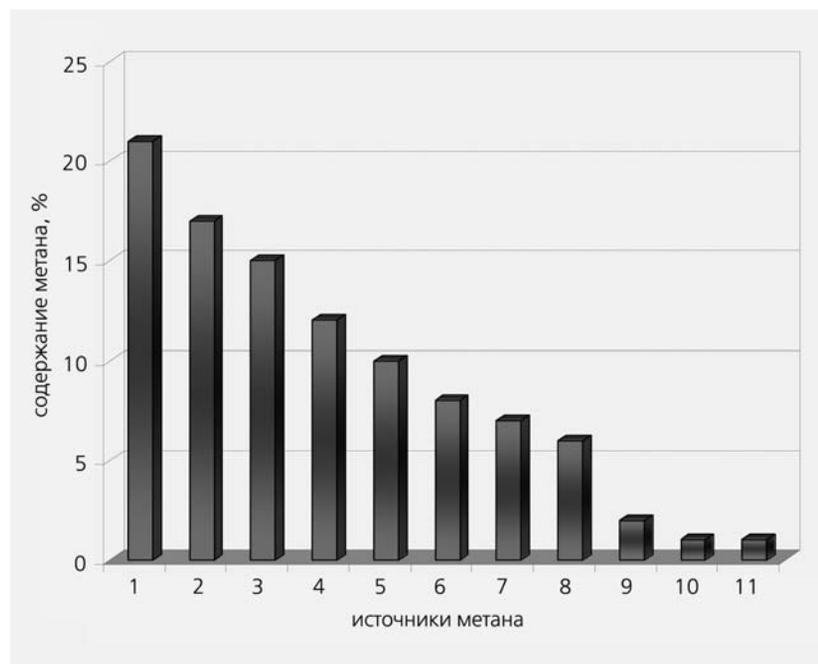
Метан играет важную роль в фотохимических реакциях нижней тропосферы. При определенных его количествах в атмосфере может происходить как восстановление, так и разрушение озонового слоя Земли. Существует реальная опасность, что ежегодное увеличение содержания этого газа в атмосфере может привести к серьезным изменениям радиационных и климатических условий.

Метан образуется в мантии Земли на больших глубинах

© Лыков И.Н., Сафронова С.А., Морозенко М.И., Ефремов Г.В., 2009

в результате химических реакций неорганических соединений и выделяется при извержении вулканов. Его естественными источниками служат также болота, тундра, моря и океаны, геохимические процессы. Значительное количество метана образуется в результате деятельности около 50 видов анаэробных микроорганизмов, в том числе в пищевом тракте жвачных животных.

В последние годы на морском и океаническом дне, а также в районах вечной мерзлоты обнаружены колоссальные скопления метана в виде газогидратов, образовавшихся в результате разложения умерших организмов, которые опустились на дно за миллионы лет. При определенном давлении и температуре смесь метана и воды превращается в твердые соединения, похожие на снег. По предваритель-



Основные источники метана: 1 — болота, 2 — рисовые чеки, 3 — травоядные животные, 4 — полигоны ТБО, 5 — забродившая биомасса, 6 — газовые месторождения, 7 — термиты, 8 — угольные шахты, 9 — океаны, 10 — озера, 11 — газогидраты метана.

ным оценкам, в таких гидратах содержится около  $10^{15}$  т метана.

Ежегодно в атмосфере содержание метана возрастает со скоростью около 1%. Хотя его концентрация значительно меньше, чем углекислого газа, он вносит существенный вклад в парниковый эффект, поскольку аккумулирует энергию инфракрасного излучения в 30 раз эффективнее углекислоты.

В современных условиях при эксплуатации природного газа выброс метана в атмосферу составляет около 8% от его общего потока, около 6% метана выделяется из угольных шахт, а из свалок органических бытовых отходов — 10%. Реально это количество может увеличиться вдвое. При мировом накоплении и переработке мусора в атмосферу попадает 57 Мт в год, что составляет 7.4% от объема метана, поступающего в атмосферу из разных источников. Вклад каждой страны в эту величину зависит от экономического развития государства, численности и плотности населения. По разным оценкам, складирование и утилизация российского мусора на свалках увеличивает ежегодный поток метана примерно на 2.5 Мт. По литературным и по нашим данным, объем биогаза, генерируемого полигонами отходов, колеблется в пределах 0.01—1 л/кг в сутки.

Мы определяли активность бактериальных процессов метангенерации и метаноокисления на Калужском полигоне твердых бытовых отходов, который эксплуатируется с 1972 г. За 35 лет существования полигона на нем складировано около 81 млн  $m^3$ , или 1 млн т отходов, а высота его сегодня достигает 25—30 м.

Полигон твердых бытовых отходов — это сложная экосистема, формирующаяся в результате постепенного просачивания атмосферных осадков и развития микроорганизмов, привнесенных с отходами и проникающих из окружающего



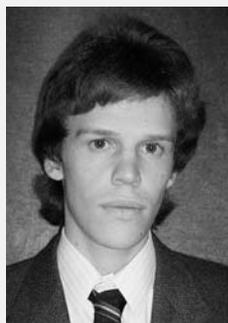
**Игорь Николаевич Лыков**, доктор биологических наук и кандидат медицинских наук, академик Международной академии наук, экологии и безопасности (МАНЭБ). Область научных интересов — микробиология, биотехнология, экология человека.



**Светлана Александровна Сафронова**, кандидат биологических наук, доцент кафедры промышленной экологии Калужского филиала Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана. Занимается вопросами ресурсо- и энергосберегающих технологий, а также проблемами устойчивого развития и экологии.



**Мария Ивановна Морозенко**, кандидат технических наук, доцент той же кафедры. Научные интересы связаны с вопросами биотехнологии, проектирования устройств биозащитных систем и энергосберегающих технологий.



**Георгий Валерьевич Ефремов**, аспирант Института естествознания Калужского государственного педагогического университета им.К.Э.Циолковского. Область научных интересов — общая экология, геоинформационные системы, микробиология.

грунта и почвы. Микробное сообщество на таком полигоне выполняет важную экологическую миссию — разлагает органические вещества. За 30—35 лет утилизируется примерно 37% органики, остальная часть продолжает разлагаться с уменьшающейся скоростью.

Неоднородность твердых отходов создает большое разнообразие и концентрацию промежуточных органических веществ (табл.1). Микроорганизмы легко переваривают более 70% отходов. В результате биодegradации образуется биогаз (смесь из 65—75% метана,

Таблица 1

## Состав отходов, принимаемых на полигон

Наименование отходов	Содержание, %
Бумага, картон	23,9
Пищевые отходы	34,9
Дерево, листва	4,0
Текстиль	4,6
Кожа, резина	2,6
Полимерные материалы	9,1
Металл черный	2,3
Металл цветной	0,5
Кости	1,5
Стекло	6,7
Керамика	1,8
Отсев менее 16 мм	7,1
Итого	100

20–35% углекислоты и незначительных количеств сероводорода, азота, водорода), а также достаточное количество воды. Он в виде полигонного конденсата попадает в поверхностные и подземные воды и способствует миграции загрязняющих веществ.

Для средней полосы России и ее северных территорий характерны низкие температуры в течение длительного времени в году. Такая особенность вызывает ряд принципиальных вопросов: происходят ли процессы бактериального газообразования на свалках органических бытовых отходов в холодный сезон, каков состав образующихся газообразных и летучих продуктов и какая микрофлора биологически активна в данных условиях?

Для изучения метангенерации в теле Калужского полигона пробурены наблюдательные скважины разной глубины (от 5 до 20 м), соответствующие времени формирования полигона. Подобное размещение скважин позволило нам в любой сезон отбирать образцы с различных горизонтов полигона и следить за динамикой биодеградации отходов, скоростью и объемом газообразования. Газы из скважин отбирали с помощью специальных приспособлений. Для оценки количества поступающего в атмосферу метана на по-

верхности свалки рядом со скважинами установили колпак-ловушки для сбора газа. Интервал отбора проб отходов и газа из скважин — 2–4 м по вертикали.

Наши исследования показали, что на свалках органических бытовых отходов активная микробная деградация имеет четкую биогеохимическую зональность, которую можно разделить на четыре уровня.

На **первом уровне** (0,1–1 м), т.е. в самом верхнем слое полигона, наиболее интенсивны аэробные процессы (за счет активного газообмена с атмосферой). Концентрация кислорода в воздушной сфере свалки (20%) способствует активному формированию микробного сообщества. Туда входят мезофильные аэробы и факультативные анаэробы, среди которых актиномицеты, синезеленые водоросли, плесневые грибы, гнилостные бациллы. В меньших количествах присутствуют кокковые микроорганизмы, лактобациллы и клостридии.

За первичный распад биополимеров (углеводов, белков и липидов), гидролиз, отвечают микроорганизмы, имеющие специальные ферменты, гидролазы. Их размножению и распространению по поверхности твердого субстрата способствует вода, поступающая с поверхности полигона. При температуре 20–35°C

лучше всего размножаются мезофильные микроорганизмы, количество которых колеблется от 500 тыс. до 1,5 млн КОЕ в 1 г отходов. Среди них около 60% составляют плесневые грибы, актиномицеты и синезеленые водоросли, остальные представлены целлюлозоразрушающими микроорганизмами, азотфиксирующими, аммонифицирующими бактериями, главным образом родами *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Proteus*.

На **втором уровне** (1–5 м), где продолжается гидролиз полимерных субстратов, количество микроорганизмов колеблется от 2,2 млн до 7,2 млн КОЕ/г. Продукты гидролиза потребляют гидролитики и другие кислотогенные микроорганизмы, способствуя накоплению органических кислот (масляной, пропионовой, молочной, уксусной), а также низших спиртов, аммиака, нитратов, нитритов и водорода. Достаточная влажность обеспечивает доступность органических веществ (и прежде всего жирных кислот) для микроорганизмов и накопление их биомассы. На этом уровне аэробная микрофлора активно поглощает кислород, что стимулирует деятельность анаэробов, в основном мезофильных — факультативных и облигатных.

На **третьем уровне** (5–10 м) идут процессы анаэробной ферментации с участием нескольких групп микроорганизмов, в том числе лактобацилл и клостридий. Количество микроорганизмов колеблется от 550 тыс. до 2 млн КОЕ/г. Достаточно высокая температура (от 30 до 50°C) создает благоприятные условия для развития термофильных микроорганизмов, ускоренного разложения сложных органических веществ и интенсивной генерации метана, в основном ацетогенами, превращающими органические кислоты в уксусную кислоту, водород и оксиды углерода. Это подтверждается предварительными исследованиями изотоп-

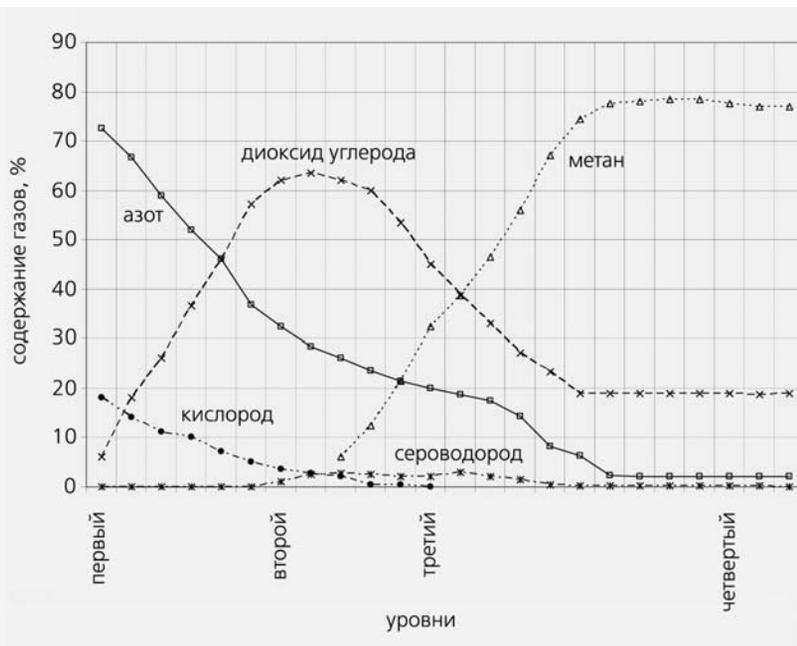
ного состава углерода образцов, отобранных на третьем уровне. В газообразной фракции присутствовали также сероводород и метан.

Метанобразующие бактерии восстанавливают углекислый газ в метан с поглощением водорода, который в противном случае может ингибировать уксуснокислые бактерии. Метановое брожение, в зависимости от местных условий, стабилизируется от нескольких месяцев до года. В выделяющемся газе содержание метана достигает 50–60%, а диоксида углерода и азота — соответственно 35–40% и 5–8%.

Самый глубокий, **четвертый, уровень** (10–15 м) отличается значительно меньшим количеством микроорганизмов: от 150 тыс. до 670 тыс. КОЕ/г. В пробах в основном присутствуют анаэробные мезофильные бактерии из родов *Bacillus* и *Clostridium*. Температура здесь медленно снижается до 20°C, что свидетельствует об истощении легкоразлагаемых органических соединений. Содержание метана в газовой фазе 65–80%.

Таким образом, в зависимости от глубины горизонта меняется как количественный, так и качественный состав микроорганизмов (табл.2). С понижением горизонта возрастает процентное соотношение гнилостных бацилл, лактобацилл и клостридий. На различных уровнях биодеградации отходов меняется и состав биогаза (табл.3). Больше всего метана образуется на глубине 6–9 м, ниже этот процесс ослабевает.

В результате выполненных работ установлено, что полигон выделяет метан крайне неравномерно: от 0 до 3,9 л/ч с квадратного метра поверхности. Это отражает местное состояние глиняного слоя, перекрывающего слои с отходами. Основной выброс метана в атмосферу происходит на склонах свалки и практически не наблюдается на ее крыше. Биогаз, образующийся в толще складированных



Состав биогаза на различных стадиях биодеградации твердых бытовых отходов.

**Таблица 2**

**Состав микроорганизмов на разных глубинах горизонта полигона ТБО**

	Глубина горизонта, м		
	0–5	6–9	10–15
Общее число микроорганизмов, КОЕ/г, тыс.	7 100	2 900	780
<b>Отдельные группы микроорганизмов, %</b>			
Актиномицеты	23,6	9,4	1,3
Дрожжи	21,0	0,1	0,1
Плесневые грибы	17,5	9,8	1,2
Бациллы	15,4	28,3	33,5
Энтеробактерии	7,0	0,1	0,1
Лактобациллы	4,0	19,0	22,0
Стафилококки	3,5	4,0	0,6
Клостридии	7,0	29,3	41,2

**Таблица 3**

**Состав биогаза в зависимости от расположения и глубины скважины**

Размещение и глубина скважин на полигоне, м	Количество, %			
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
На склоне, 15	44,1	23,8	26,0	6,2
На склоне, 10	59,1	34,3	6,0	1,0
На склоне, 5	51,4	7,0	32,8	7,4
На склоне, 5	63,4	22,8	11,1	2,6
На склоне, 10	59,1	28,9	9,9	2,1
На крыше, 10	20,8	14,5	68,8	13,3
На крыше, 10	32,7	18,5	40,0	8,8
На крыше, 15	10,2	5,2	72,2	12,3

отходов, распространяется преимущественно в горизонтальном направлении, и его эмиссия зависит главным образом от состояния верхнего слоя отходов и степени его изоляции от атмосферного воздуха.

На активность метаногенеза большое влияние оказывают физические и химические факторы среды. Максимум интенсивности метанобразования наблюдался при 33–45°C, что свидетельствует о преобладании мезофильной микрофлоры в этих горизонтах полигона. Образующееся при аэробных процессах тепло, ускоряя биохимические реакции, приводит к еще большему выделению тепла.

Исследования показали, что в скважинах собирается газ, содержащий от 18 до 80% метана. При малых концентрациях метана в скважинах диоксид углерода обогащен изотопом  $^{13}\text{C}$ . Значит, в отложениях полигона при наличии кислорода образующийся метан окисляется микробами. При больших концентрациях изотопный состав метана характеризуется значениями  $\delta^{13}\text{C}$ : –58 и –54,5‰. Это свидетельствует о бактериальном восстановлении углекислоты до метана. Изотопный состав углекислоты ( $\delta^{13}\text{C}$ : –39, –38, –35‰) свидетельствует об образовании углекислоты при окислении метана, оставшаяся часть которого обогащается изотопом  $^{13}\text{C}$ .

Отмеченная сезонная активность микроорганизмов, веро-

ятно, определяется температурой среды. Так, в жаркое летнее время количество изотопа  $^{13}\text{C}$  в метане наибольшее и обеднение углекислоты как продукта бактериального окисления метана меньше. Это связано с тем, что биогаз, образующийся в анаэробной зоне, мигрирует вверх по разрезу и в аэрируемых приповерхностных отложениях окисляется аэробной микрофлорой. Работа такого окислительного биофильтра четко фиксируется в химических и изотопных параметрах газов и характеристике микрофлоры грунтов.

Эффективность биофильтра на пути метана в атмосферу зависит от соотношения скоростей микробного окисления метана и его бактериальной генерации, от температурного режима в течение года, влажности и др. В этом случае возможны существенные сезонные колебания бактериальной активности окисления метана и, соответственно, связанные с этим выбросы его в атмосферу.

Проведенная нами количественная оценка генерации метана на свалке бытовых отходов позволила установить, что скорость образования метана устанавливается сравнительно постоянной лишь с определенного количества захороненных отходов и по истечении определенного времени их хранения. Свалка твердых органических отходов фактически

рассматривается как система, представляющая собой твердофазный ферментер с меняющимся коэффициентом разбавления свеженосимыми органическими отходами.

В результате выполненных замеров установлено: в воздушном потоке над свалкой содержится 200–360 ppm метана, т.е. за год при утилизации 1 т отходов образуется 4 кг метана. При этом средний объем поступающих отходов — около 720 тыс. м<sup>3</sup>, или 219 816 т. Прогнозируемое количество образующегося метана составляет около 880 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Таким образом, генерация метана полигоном твердых бытовых отходов имеет промышленные масштабы и может оказывать значительный вклад в глобальные климатические процессы. Каждый новый слой свалки может выдавать биогаз в течение 10–12 лет. Максимум производительности приходится на четвертый год, затем она медленно снижается. Ежегодно полигон генерирует около 8,8 млн м<sup>3</sup> метана, который при определенном техническом решении можно использовать как источник энергии минимум через 5–10 лет после создания свалки. Рентабельность полигона проявляется при объемах мусора более 1 млн т. Значит, сегодня Калужский полигон может быть реальным источником биогаза для технического использования. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 07-06-00132.**

# Склад янтаря–сырца в древнем Владимире

О.В.Зеленцова,

кандидат исторических наук

И.Н.Кузина, С.И.Милованов

Институт археологии РАН  
Москва

Осенью 2008 г. при археологических работах во Владимире был найден склад янтаря (всего более 150 кг) в подполе богатого дома первой половины XIII в. Эта находка стала большой неожиданностью для специалистов, так как в Европе ничего подобного ранее известно не было.

Остатки домов (главным образом, подполий) состоятельных горожан древнерусского времени археологи фиксировали уже не раз. Экспедиция отдела охраны раскопок Института археологии РАН с 2006 г. ведет археологические работы в исторической части Владимира, на территории крепости, основанной Владимиром Мономахом на рубеже XI–XII вв. Это — древнейшая часть города, так называемый Мономахов, или Печерный город. Исследуемый участок расположен в северо-западной части бывшей крепости, на правом коренном берегу р.Лыбедь (приток Клязьмы). С четырех сторон он ограничен улицами, а с запада примыкает к частично сохранившемуся Троицкому валу, тоже возведенному на рубеже XI–XII вв. и названному так по находящейся рядом Троицкой церкви XVII в. В современной топографии города эта территория обозначена как квартал №13 исторического ядра Владимира.

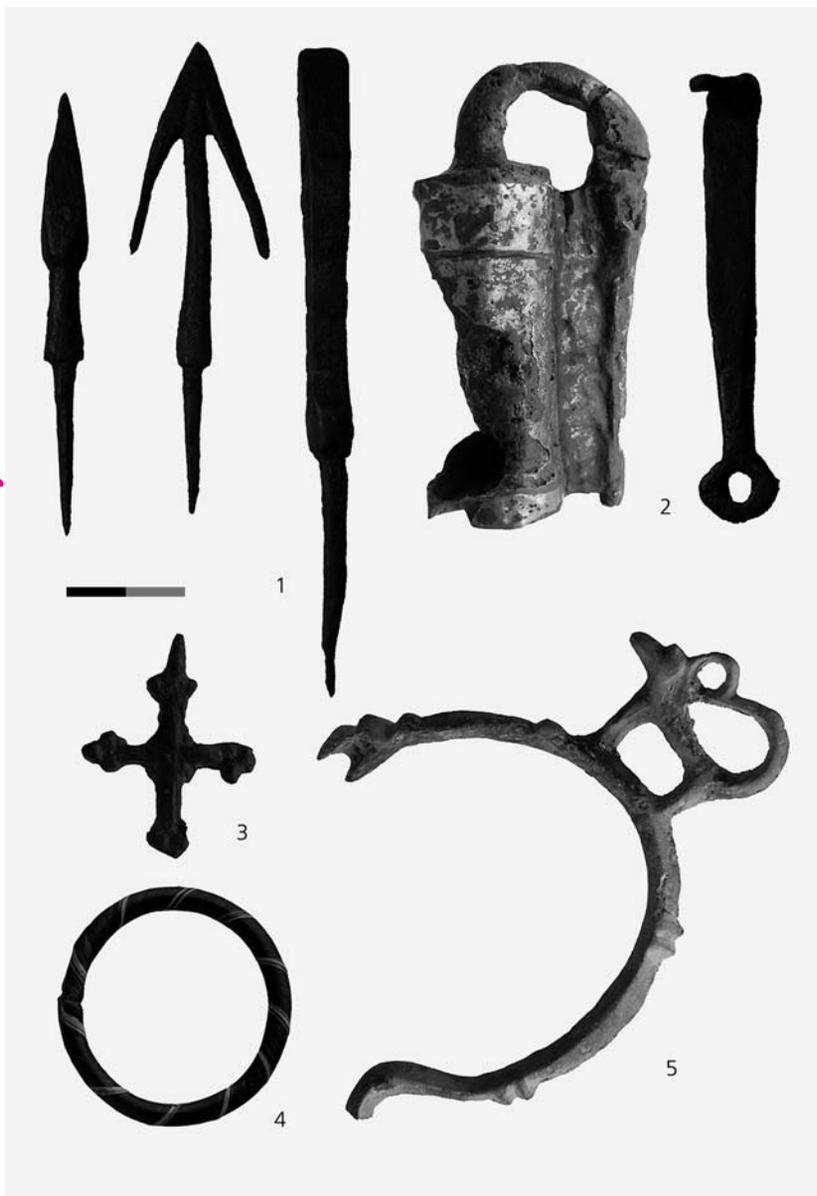
Археологические работы предваряют строительство современного элитного жилого

комплекса на месте домов XIX — начала XX в. Культурный слой исследуемого участка включает напластования всех эпох истории Владимира — с середины XII по начало XXI в. Под фундаментами недавно снесенных домов, подвалами конюшен и многочисленных сараев открывается древняя планировка этой части города. Среди остатков сооружений XVI — начала XIX в. археологи находят наборы печных изразцов: гладких расписных со сценами из городской жизни XVIII в.; рельефных зеленых (так называемых муравленых), преимущественно с растительным декором, относящихся к середине — второй половине XVII в.; встречаются единичные находки красноглиняных рельефных изразцов без поливы, которые появились на Руси на рубеже XVI–XVII вв. или в первой половине XVII в. К этому же времени относятся птички-свистульки, медведи и «коники», фрагменты других глиняных игрушек, изображающих горожан в высоких шапках. Интересны красноглиняные свистульки и погремушки, похожие на барабан, и так называемые колокольчики. На некоторые игрушки белым ангобом\* нанесен декор-елочка, который вместе с колокольчиками можно считать отличительной чер-

\* Ангоб (от фр. engobe) — покрытие из белой или цветной глины, которое наносится на керамические изделия до обжига, чтобы устранить возможные дефекты поверхности и придать ей какой-либо цвет.

той городской культуры Владимира того времени (в Москве, например, такие находки неизвестны). Красноглиняные «турецкие» и белоглиняные «голландские» курительные трубки иллюстрируют нововведения Петровской эпохи. Кроме того, найдены бытовые и хозяйственные предметы из цветных металлов, железа, фрагменты стеклянных и керамических сосудов: поливных, лощеных (со специальным образом заглаженной поверхностью) и просто красноглиняных.

Керамика — самый массовый вид находок и к тому же основной материал, используемый для датирования слоев и объектов. Собранная при раскопках коллекция представлена фрагментами сосудов середины XII — XX в. Отдельные фрагменты датируются XI — первой половиной XII в., что соответствует дате основания Троицкого вала. В целом керамические предметы отражают историческую динамику развития города: многочисленная и разнообразная древнерусская керамика характеризует интенсивную жизнь столицы одного из крупнейших княжеств домонгольской Руси; немногочисленные фрагменты керамики XIV–XV вв. свидетельствуют о значительном уменьшении населения города и относительном хозяйственном упадке после татаро-монгольского нашествия; новый хозяйственный и демографический подъем выражен в резком увеличении количества кера-



Находки из древнерусских слоев: 1 — железные стрелы разных типов; 2 — навесной замок со следами коррозии и ключ; 3 — бронзовый нательный крест; 4 — целый стеклянный браслет — редчайшая находка, так как обычно до нас доходят лишь фрагменты таких изделий; 5 — ручка бронзового кувшина с зооморфным украшением.

мики последующего периода, однако ее типовой состав указывает уже на провинциальный характер развития городской экономики. Коллекция, собранная при раскопках во Владимире, соответствует общей картине развития керамического производства на Руси, однако выделяются и свои, местные, особенности.

Основным результатом раскопок на площади 2500 м<sup>2</sup>, проведенных за три года, можно считать найденные остатки шести древнерусских усадеб домонгольского времени; следы частоколов, маркирующих межуздебное пространство; прослеженные на отдельных участках улицы, которые в XII—XIII вв. пересекали район современного

13-го квартала. Зафиксированы следы деревянных подполий жилых усадебных домов, выявлены отдельные конструктивные элементы построек. Среди находок древнерусского времени — предметы быта, украшения, фрагменты воинского и конского снаряжения из различных материалов. Изделия из цветного металла — украшения и предметы христианского культа — немногочисленны ввиду их плохой сохранности в слое; лучше представлены предметы из железа — замки, ключи, стрелы, ножи, фрагменты шпор и т.п. Среди находок из других материалов особенно ярко представлены стеклянные браслеты.

Коллекция вещевых находок древнерусского времени указывает на высокий социальный статус владельцев усадеб, располагавшихся в этой части древнего Владимира. Прежде всего об этом говорят предметы импорта — стеклянные украшения (бусы и перстни) и сосуды сирийского и византийского производства, декорированные росписью золотом и цветными эмалями; поливная керамика, фрагменты амфор, бронзовых и каменных котлов, ручка металлического кувшина с зооморфным украшением, сердоликовые и хрустальные бусы и пр. К статусным предметам относятся найденные на участке раскопок железное писало, бронзовые книжные застежки и некоторые другие находки.

Многие из остатков жилых построек носят следы большого пожара, наиболее вероятная дата которого — 1238 г. Этот пожар, по всей очевидности, стал причиной гибели большого богатого дома, в подполе которого и был найден склад янтаря. Не обработанные куски «солнечно-го камня» размером до 6—8 см хранились в дощатых ящиках, перевязанных веревками. При пожаре они сильно пострадали от огня, пострадал и янтарь: многие куски спеклись, некоторые расплавились и застыли затем в виде бесформенной мас-

сы. Кроме янтаря среди остатков этого дома найдены фрагменты иранских поливных керамических сосудов с люстровой росписью, огромное количество фрагментов амфор из причерноморских и средиземноморских государств, куски бронзового котла (или котлов), чье происхождение связывают с Волжской Булгарией. Вероятно, с этой же постройкой можно связать найденный рядом фрагмент каменного котла из Средней Азии — чрезвычайно редкой находки на территории Руси. С осторожностью можно предположить, что он вместе с бронзовым котлом использовался для подготовки хранившегося в доме янтаря к перепродаже: чтобы янтарь становился прозрачным и красноватым, его, по сведениям Бируни, варили в квасцах и меду именно в таких котлах.

Спрос на янтарь накануне монгольского нашествия был на Руси огромен. Его использовали как поделочный камень, применяли в медицине, для благовоний и алхимических опытов; особенно много шло его при изготовлении олифы или янтарного лака. При рас-

копках на разных памятниках находят отдельные украшения из янтаря, а иногда и «клады» (от нескольких фрагментов до 16 кг), как, например, в Киеве, Новгороде, Болгаре. Крупные находки связаны с балтийскими центрами международной торговли: 50-литровая бочка, наполненная янтарем, была обнаружена в 1867 г. на Земландском п-ове. В 1900 г. близ Гданьска нашли глиняный горшок с 9 кг янтаря. Большинство исследователей считают, что в Средневековье балтийские месторождения были основным поставщиком этого сырья, там с древности известна его свободная добыча. С Балтики так называемым Янтарным путем, через Центральную Европу, он поступал в соседние страны, откуда расходился по всему миру. Это продолжалось до второй половины XIII в., когда Тевтонский орден объявил янтарные залежи своей собственностью, после чего его продажа стала строго регламентированной.

О большой востребованности янтаря на Руси было известно давно, однако последняя находка во Владимире изменила

представления о размерах оборота янтаря-сырца накануне монгольского нашествия.

Сделанные в последние годы открытия стали возможны благодаря охранному раскопкам, предусматривающим в соответствии с российским законодательством обязательные исследования культурного слоя в зоне строительства. Во Владимире до недавнего времени практически ничего не было известно о планировке города, материальной культуре горожан. Столичный статус города подтверждался только известнейшими памятниками архитектуры. С началом интенсивного строительства появилась возможность широкомасштабных исследований. Сегодня такие работы в историческом центре Владимира — Мономаховом, Ветчаном и Новом городе — ведут помимо Института археологии РАН и другие организации. Совместные усилия археологов за последние 15 лет дали обширный материал, позволивший сделать немало интересных заключений об истории развития Владимира — одного из крупнейших городов Древней Руси. ■

# Что видят брюхоногие моллюски?

И.П.Шепелева,  
кандидат биологических наук  
Калининград

**Б**рюхоногие моллюски (Gastropoda) — самый богатый видами (около 90 тыс.) класс типа мягкотелых животных (Mollusca), состоящий из трех подклассов: переднежаберные (Prosobranchia), заднежаберные (Opisthobranchia) и легочные (Pulmonata). Принадлежащие к этому классу моллюски разнообразны по внешнему виду, способу питания и образу жизни. Среди них есть улитки, раковина которых (от конической до блюдцевидной) вмещает все тело животного, полуслизни с крошечной раковиной и слизни, лишенные раковины. Существуют растительноядные брюхоногие моллюски, а также хищники и всеядные, свободноживущие и паразиты, водные и наземные, способные ползать или шагать, прыгать или плавать.

Первые брюхоногие моллюски появились в кембрийский период (около 540 млн лет назад) на тепловодных морских мелководьях с жестким грунтом. Современные гастроподы живут в разных биотопах морей и океанов, солоноватых и пресных вод, суши. Из моря на сушу моллюски могли попасть разными путями: через эстуарии — широкие устья рек, доступные для приливов, в пресные водоемы (озера и реки), а оттуда на сушу, или через мангры — древесно-кустарниковые растительные сообщества, развитые на периодически затопляемых участках морских побережий и устьев рек [1, 2].

В воде моллюски дышат при помощи жабр, которые у переднежаберных расположены впереди, а у заднежаберных — позади сердца. Считается, что морские переднежаберные моллюски — предки заднежаберных и легочных [1]. Среди моллюсков с жаберным дыханием есть и наземные виды, обитающие во влажных тропиках и субтропиках. Некоторые группы гастропод после выхода из морских водоемов на сушу утратили жабры и приобрели легочный тип дыхания. При этом часть их перешла к обитанию в пресных водах, но в соответствии с законом необратимости эволюции сохранила приобретенный на суше легочный тип дыхания. Такие вторично-водные виды (например, обыкновенные прудовики) вынуждены время от времени подниматься к поверхности воды, чтобы набрать воздух в легкое.

У большинства брюхоногих моллюсков есть глаза. У одних они расположены на концах щупалец — «рожек», у других — в их основании. Однако для исследователей, изучающих органы чувств и поведение животных, глаза моллюсков оказались малопривлекательными. Скорее всего, причина тому — небольшие, а иногда крошечные (менее 200 мкм) размеры их глаз и медлительность самих моллюсков. В результате зрительная система этих животных изучена недостаточно — ее функциональное значение определено лишь для единичных видов [2].

Как же устроены глаза брюхоногих моллюсков? Подавляю-

щее большинство видов имеет глаза камерного типа [1]. Прежде чем попасть на сетчатку такого глаза, свет проходит через светопреломляющий (диоптрический) аппарат, который представлен двумя линзами. Первая — это видоизмененный щупальцевый эпидермис плюс роговица, а вторая — хрусталик [1–3].

Щупальцевый эпидермис — кубический или столбчатый эпителий, обычно прозрачный и не пигментированный. Роговица — однослойная структура, состоящая из прозрачных не пигментированных эпителиальных столбчатых клеток. У наземных моллюсков щупальцевый эпидермис и роговица прижаты друг к другу, у водных — глаз окружен околооптическим синусом, который располагается под дермой и заполнен прозрачным содержимым, похожим на гемолимфу. Размер синуса может меняться при сокращении мышц, прикрепленных к глазной капсуле, в результате чего глаз располагается либо непосредственно под щупальцевым эпидермисом, либо на некотором расстоянии от него [1–3].

Хрусталик в основном правильной сферической или эллипсоидной формы и может быть твердой или мягкой консистенции [2]. Уникальная двудольчатая форма хрусталика обнаружена у морского заднежаберного моллюска *Navanax inermis*, а в глазах морского переднежаберного моллюска *Turbo castanea* часть хрусталика выдается наружу через апертуру (зрачок), тогда как основная часть локализована внутри глаз-

ной полости [4]. Ни положение, ни форма хрусталика не меняется, поскольку нет соответствующей мышечной ткани [3].

Хрусталик окружен гомогенным и, как правило, прозрачным стекловидным телом, отделяющим его от роговицы и сетчатки, в которой свет сразу попадает на светочувствительные окончания фоторецепторных клеток (такой тип строения сетчатки называется неинвертированным, потому что есть и другой тип — инвертированный, когда свет проходит сначала сквозь тела клеток, а потом попадает на их светочувствительные окончания) [1]. У большинства исследованных видов сетчатка по форме напоминает полусферу [2]. У морского заднежаберного моллюска *N. inermis* и пресноводных легочных моллюсков — прудовиков (*Lymnaea stagnalis* и *Radix peregra*), физы (*Physa fontinalis*) и катушки (*Planorbis corneus*) на поверхности сетчатки есть ямки (вверху — дорсальная и внизу — вентральная) различной глубины, разделенные гребнем [3, 4]. Особенно сложное строение имеет сетчатка у килевогих моллюсков (*Pterotrachea*, *Oxygyrus*, *Carinaria*, *Atlanta*). Это морские хищные формы, которые всю жизнь проводят в толще воды, охотясь на планктонных животных — медуз, ракообразных, других моллюсков. У них сетчатка — в виде длинной ленты, которая несет несколько рядов рецепторных колонок, где отдельные рецепторы поставлены друг на друга так, что свет проходит через колонку, содержащую светочувствительные окончания от нескольких клеток [5].

Светочувствительные клетки сетчатки несут выросты — микровиллы, содержащие в мембране зрительный пигмент. В сетчатке моллюсков можно выделить два морфологически разных типа микровиллярных фоторецепторов — первый и второй. Фоторецепторы первого типа имеют длинные тонкие микровиллы, которые отходят ли-



Наземные брюхоногие легочные моллюски (сверху вниз): улитка *Caucasigona schaposchnikovi*, полуслизень *Bilania boettgeri* и слизень *Bielzia coerulans*.

Фото И. Муратова, С. Леонова и Н. Сверлова.

бо от апикального (верхнего) отростка, либо от более или менее выпуклой апикальной поверхности клетки. Поверхность фоторецепторов второго типа плоская или вогнутая и несет короткие и, чаще всего, более толстые микровиллы [1–3]. У наземного легочного моллюс-

ка — улитки-камнетеса *Helicigona lapicida* фоторецепторы второго типа различаются между собой по диаметру дистальной части тела клетки, степени ее вогнутости и длине микровилл [2]. У некоторых видов моллюсков фоторецепторные клетки помимо микровилл со-



Морские брюхоногие моллюски (сверху вниз): заднежаберные — *Aplysia* sp. и *Coryphella verrucosa*, переднежаберный — *Aporrhais pespelicani*.

Фото Д.Иванова и Т.Коршуновой

держат неподвижные реснички, как у пресноводного переднежаберного моллюска — живородки (*Viviparus malleatus*). У заднежаберного моллюска — морского зайца (*Aplysia*) в сетчатке есть и клетки с микровиллами, и клетки с ресничками. У килевогих моллюсков сегменты рецепторов образованы стопками мембранных дисков (как у позвоночных) и лишь в некоторых зонах сетчатки несут микровиллы и реснички [4, 5]. Рецепторные клетки изолированы друг от друга опорными клетками, которые содержат гранулы экранирующего пигмента. Светочувствительная часть всех рецепторных клеток образует светочувствительный слой, а дистальная (верхняя) часть опорных клеток, заполненная пигментом, — пигментный слой [1–3].

В сетчатке также находятся нервные и глиальные клетки. Одни нервные клетки (пейсмейкерные) генерируют ритмические импульсы, влияющие на ритм суточной активности моллюсков. Другие — контролируют сокращения мышц глазной капсулы. Глиальные клетки выполняют опорную функцию и обеспечивают питание чувствительных и нервных клеток сетчатки. Пучки аксонов фоторецепторных и пейсмейкерных нервных клеток выходят из сетчатки и образуют оптический нерв. Сетчатка окружена соединительной тканью, граничащей с глазной капсулой, которая исчезает в области роговицы [1, 3, 5].

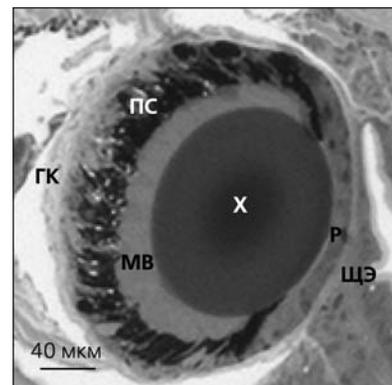
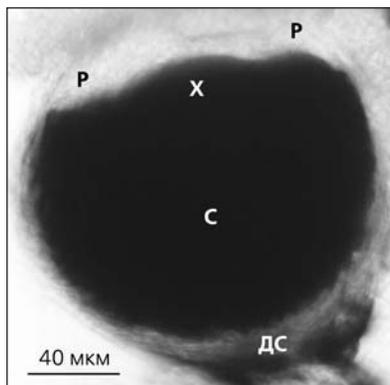
Что могут видеть брюхоногие моллюски — обладатели камерных глаз? По своему устройству камерный глаз — потенциально хороший орган зрения [1]. Он имеет лучшую разрешающую способность и световую чувствительность по сравнению с другими типами глаз подобного размера (благодаря длинному фокусному расстоянию по отношению к диаметру фоторецепторов и широкой апертуре), а также явное преимущество в преодолении глав-

ного оптического дефекта — дифракции [5].

Очевидно, что высокая разрешающая способность необходима быстрому хищнику, но хорошее зрение также важно и другим животным для распознавания хищников, нахождения особей своего вида, маневрирования в местах обитания и т.д. [1]. Правда, большинство брюхоногих моллюсков медлительны, к тому же некоторые из них ведут сумеречно-ночной образ жизни. В связи с этим среди некоторых исследователей сенсорных органов брюхоногих моллюсков распространено мнение, что эти животные определяют объекты при помощи хеморецепции (обоняния), а камерные глаза обеспечивают только реакцию фототаксиса (движение к источнику света или от него) [4].

Конечно, возможности камерных глаз гастропод неодинаковы: у одних они могут функционировать как органы зрения, у других — только как детекторы освещенности. Это было установлено в результате исследований, выполненных с помощью методов световой и электронной микроскопии [1, 2, 5, 6]. О том, что на самом деле могут видеть животные, судят по их поведению. В этом случае остроту зрения определяют по порогу двигательной реакции (наименьшему значению зрительного стимула, вызывающего реакцию животного).

Наблюдения за морскими переднежаберными моллюсками *Littorina irrorata* [7], *L.punctata* [8] и *Nerita textiles* [9] в естественной среде обитания позволили предположить, что они могут ориентироваться по силуэтам наземных растений с вертикальными стеблями. В лабораторных условиях морские переднежаберные моллюски *L.irrorata* [10], *Turbo castanea* и *Tectarius muricatus* [11] предпочитают вертикальную полосу горизонтальной и диагональной, будучи от них на расстоянии 15 см. В природе *L.irrorata*



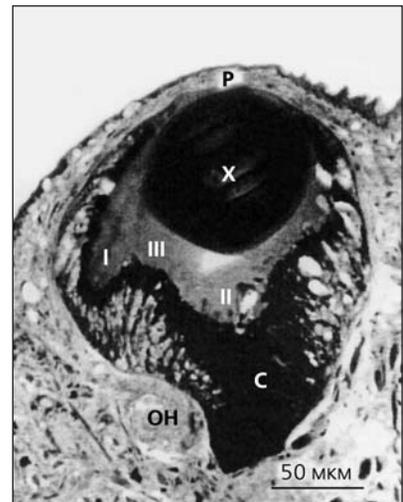
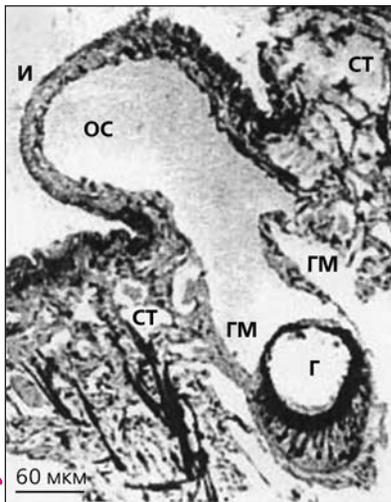
Микрофотографии глаза наземной легочной улитки *Perforatella incarnata* [2]. Слева — изолированный глаз, справа — его продольный полутонкий срез. Р — роговица, Х — хрусталик, выступающий из глазной полости, С — сетчатка, ДС — дно сетчатки, ЩЭ — щупальцевый эпидермис, МВ — микровиллярный слой сетчатки, ПС — пигментный слой сетчатки, ГК — глазная капсула.

активна во время отлива в воздушной среде в дневное и ночное время — она находит вертикально стоящие стебли растений, на которые заползает во время прилива и таким образом избегает бентосных хищников. Порог двигательной реакции на вертикальную полосу составляет  $0.9^\circ$  (размер вертикальной полосы измеряется не в сантиметрах, а в градусах — это угловой размер вертикальной полосы, которую видит моллюск на определенном расстоянии в эксперименте). *T.castanea* активен днем в морской воде, на мелководных зарослях широколиственной травы, и для той же цели использует листья донных растений (порог реакции на вертикальную полосу составляет  $0.8^\circ$ ). *T.muricatus* живет на скалах среди редкой растительности в приливно-отливной зоне и активен в воздушной среде (порог реакции на вертикальную полосу составляет  $2.8^\circ$ ).

Пресноводные легочные моллюски *L.stagnalis* [12], *R.peregra* [13] и *Pl.corneus* [14] активны днем: *L.stagnalis* и *R.peregra* живут в хорошо освещенных прибрежных участках мелких прудов, тогда как *Pl.corneus* встречается в более глубоких водоемах, на некотором расстоянии от берега. Эти моллюски пита-

ются водными растениями, растущими вертикально. По ним же моллюски взбираются, чтобы оказаться над поверхностью воды и набрать воздух в легкое. В лабораторных условиях *L.stagnalis* реагирует на карточки с вертикальными черными полосами шириной 5 мм с расстояния 14 см. *R.peregra* и *Pl.corneus* ориентируются по карточкам с вертикальными черными полосами с расстояния 45 см (пороги реакций  $1$  и  $1.4^\circ$  соответственно).

У наземных легочных улиток зрение менее острое. Европейская улитка *Helix aspersa* различает вертикальные и горизонтальные полосы с расстояния 15 см (пороги реакций  $14.8$  и  $24.6^\circ$  соответственно), не отдавая предпочтения какой-либо из них [11]. Гигантская африканская улитка *Achatina fulica* также по-разному реагирует на вертикальные ( $13^\circ$ ) и горизонтальные ( $29^\circ$ ) полосы, но предпочитает вертикальные, находящиеся от нее на расстоянии 10 см [15]. Молочная улитка *Otala lactea* в лабораторных условиях может различать объекты размером  $22.5 \times 30^\circ$  с расстояния 25 см [16]. Сравнительно высокие пороги двигательных реакций этих видов моллюсков могут быть связаны с их активным сумерчным и ночным об-



Микрофотографии продольных полутонких срезов глаз пресноводных легочных моллюсков *Lymnaea stagnalis* (слева) и *Radix peregra* (в центре и справа) [3]. И — интегумент, ОС — околооптический синус, ГМ — глазные мышцы, Г — глаз, СТ — соединительная ткань, Р — роговица, Х — хрусталик, С — сетчатка, ОН — оптический нерв, I, II, III — дорсальная ямка, вентральная ямка и разделяющий их гребень соответственно.

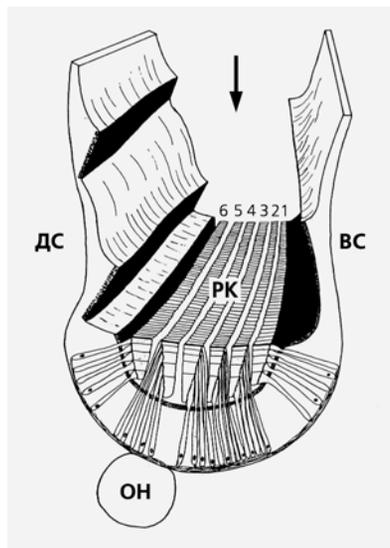
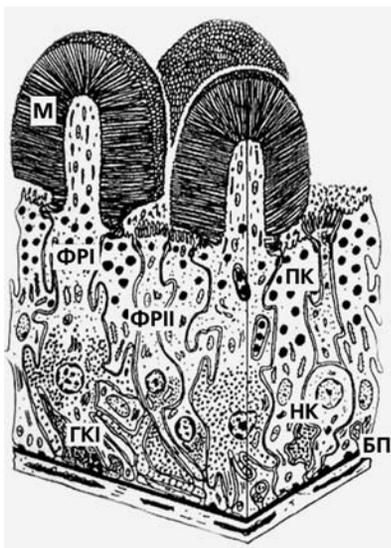
разом жизни, а выбор вертикальных объектов — с тем, что они могут служить ориентиром перемещения моллюсков в природе, убежищем и источником пищи [11, 15, 16].

Таким образом, некоторые виды брюхоногих моллюсков могут различать предметы их естественной среды обитания и геометрические фигуры, которые визуально напоминают эти

предметы и, следовательно, могут использовать зрительную информацию для ориентации в окружающей среде.

Очевидно, что зрительные способности брюхоногих моллюсков существенно различаются, так же как строение и оптические свойства их глаз [1–4]. Чем обусловлены эти различия? Глаза брюхоногих моллюсков сформировались в ходе эволюции в результате приспособления к среде обитания — водной или наземной, с разными световыми условиями. Большую роль в этом играл образ жизни моллюсков (тип активности — дневной, ночной или смешанный, предпочитаемые места обитания, способ питания), а также их эволюционная история. Так, некоторые наземные легочные моллюски, по-видимому, унаследовали от своих морских переднежаберных предков доминантную роль хрусталика в фокусировании света на сетчатке [2, 6].

Среда обитания особенно влияет на диоптрический аппарат глаза: толщину роговицы, консистенцию хрусталика и его форму. Роговица у наземных видов в несколько раз толще, чем у водных, что, вероятно, отра-



Схемы участков сетчатки пресноводного брюхоножного легочного моллюска *Lymnaea stagnalis* [3] (слева) и морского киленого моллюска *Pterotrachea coronata* [5]. ДС — дорсальная сторона, ВС — вентральная сторона, ОН — оптический нерв, РК — рецепторные колонки, М — микровиллы, отходящие от апикального отростка фоторецепторной клетки, ФРІ — фоторецепторная клетка первого типа, ФРІІ — фоторецепторная клетка второго типа, ПК — пигментная клетка, НК — нервная клетка, ГКІ — глиальная клетка первого типа, БП — базальная пластинка, ГК — глазная капсула. Стрелка показывает направление распространения света.

жает необходимость в защите глаз от потери влаги в воздушной среде [2, 3]. Хрусталик у наземных гастропод имеет эллипсоидную форму и относительно мягкую консистенцию, в то время как у подавляющего большинства водных моллюсков он сферический или почти сферический и имеет твердую консистенцию [2]. Форма хрусталиков коррелирует с величиной фокусного расстояния, а консистенция — с показателем преломления, который также определяет значение фокусного расстояния [5]. У водных моллюсков хрусталик — фактически единственный преломляющий компонент оптической системы глаза, а у наземных он может оставаться доминирующим оптическим элементом [2, 3], однако комбинация эпителий/роговица вносит существенный вклад в создание изображения на рецепторном слое сетчатки, сокращая фокусное расстояние хрусталика [2]. С регулированием фокусного расстояния в водной и воздушной среде связано

и наличие ямок в сетчатке некоторых водных легочных моллюсков [3, 6]. Околооптический синус вокруг глаз водных видов, вероятно, необходим, чтобы зафиксировать глаза в определенном положении по отношению к телу животного и уменьшить риск возможного механического давления при втягивании головы в раковину [3].

Световые условия мест обитания влияют на анатомические параметры, которые ответственны за световую чувствительность, т.е. на размер апертуры и фоторецепторов [5]. Освещенность мест обитания может определять и клеточный состав сетчатки, что проявляется, например, в отсутствии фоторецепторов второго типа или варьировании количества фоторецепторов того или иного типа. Известно, что клетки первого типа — рецепторы тусклого света, а клетки второго типа — яркого [3, 6].

Тип активности связан со световым режимом мест обитания, который, влияя на диаметр

фоторецепторов, определяет значение основных показателей качества зрения — световой чувствительности и разрешающей способности глаза. Характер мест обитания (открытая или занятая растительностью местность) и способ питания (растительной или животной пищей) определяют разрешающую способность глаза в зависимости от необходимости идентифицировать соответствующие объекты.

Очевидно, что все перечисленные факторы влияют на морфологию и оптические свойства глаз, приводя к формированию зрительной системы, приспособленной к жизнедеятельности в той или иной среде обитания. Структура и физиология глаз — прямое отражение зрительных потребностей животных [5]. Следовательно, наблюдаемые различия в строении, оптических свойствах глаз и зрительных способностях брюхоногих моллюсков обусловлены их разными зрительными потребностями. ■

## Литература

1. Seyer J.-O. Comparative optics of prosobranch eyes. PhD thesis for doctorate degree. Lund, 1998.
2. Шепелева И.П. Сравнительная морфология и оптические свойства глаз брюхоногих моллюсков Stylommatophora (Gastropoda: Pulmonata). Дис. канд. биол. наук. М., 2007.
3. Bobkova M.B., Gal J., Zbukov V.V. et al. // *Invert. Biol.* 2004. V.123. №2. P.101—115.
4. Hamilton P.V. // *Amer. Malacol. Bull.* 1991. V.9. №1. P.89—98.
5. Land M.F. Optics and vision in invertebrate. Berlin, Heidelberg, N.Y., 1981.
6. Gal J., Bobkova M.V., Zbukov V.V. et al. // *Invert. Biol.* 2004. V.123. №2. P.116—127.
7. Hamilton P.V. // *Mar. Behav. Physiol.* 1978. V.5. P.255—271.
8. Evans F. // *Proc. Zool. Soc. Lond.* 1961. V.137. P.393—402.
9. Chelazzi G., Vannini M. // *Monit. Zool. Ital.* 1976. V.7. P.161—178.
10. Hamilton P.V., Winter M.A. // *Anim. Behav.* 1982. V.30. P.725—760.
11. Hamilton P.V., Winter M.A. // *Anim. Behav.* 1984. V.32. P.51—57.
12. Andrew R.J., Savage H. // *Neurobiol. Learn. Mem.* 2000. V.73. P.258—273.
13. Шепелева И.П. Поведенческие исследования зрительного предпочтения пресноводного моллюска *Radix peregra* (Mueller, 1774) // Тезисы докладов 11-й Всероссийской медико-биологической конференции молодых исследователей «Человек и его здоровье». СПб., 2008. С.431.
14. Жуков В.В., Бобкова М.В., Ваколюк И.А. // *Журн. эвол. биохим. физиол.* 2002. Т.38. №4. С.419—430.
15. Жуков В.В., Байкова И.Б. // *Сенс. сист.* 2001. Т.15. №2. С.133—138.
16. Hermann H.T. // *Vision Res.* 1968. V.8. P.601—612.

# Заметки и наблюдения Кала-Кулак — овраг «замков»

Н.В.Короновский,

доктор геолого-минералогических наук

М.С.Мышенкова

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Река Малка берет начало в ледниках северного склона Эльбруса — исключительно живописного района. Здесь встречаются не только геологические памятники, но и просто замечательные природные ландшафты, сменяющие друг друга на очень коротком расстоянии. В низовьях одного из притоков Малки — р.Бирджалысу — находится знаменитый теплый источник углекислых вод Джилысу, а рядом с ним — мощный водопад Султан. На

склонах долины, в которой располагается источник, возвышаются несколько десятков причудливых конусов, напоминающих башни замков. Нигде больше вокруг Эльбруса, да и на всем Северном Кавказе, подобных сооружений нет. Как правило, эти «башни» высотой 15—20 м обладают остроконечной вершиной, и лишь изредка они венчаются большими глыбами, реже валунами, дацитовых лав диаметром до 2 м.

В хороший солнечный день, на фоне ослепительного белого Эльбруса, красноватых молодых лавовых потоков, сохранивших

все первичные черты своего рельефа, и ярко зеленых травяных склонов оврага светло-серые башни выглядят фантастически, напоминая древний разрушенный город.

На заднем плане причудливых конусов грохочет водопад Султан, низвергающийся с 30-метровой высоты из ущелья, пропиленного р.Кизилкол в мощном молодом голоценовом лавовом потоке. Лавы, вышедшие из какого-то побочного кратера на северном склоне Эльбруса, перегородили исток р.Малки, и выше по течению образовалось озеро. Уровень его,

© Короновский Н.В.,  
Мышенкова М.С., 2009



Причудливые башни оврага Кала-Кулак.

Здеси и далее фото М.С.Мышенковой



Башни сложены вулканогенно-обломочным материалом с хорошо различной горизонтальной слоистостью.

достигнув кровли потока, стал понижаться за счет прорезания лав. Так и возникло ущелье с водопадом. Река пропилила уже почти 2/3 мощности лавового потока.

Как же образовались эти причудливые башни? Конечно, их формирование связано с вулканической деятельностью Эльбруса, в которой насчитывается по крайней мере четыре или пять крупных фаз. Наиболее древние извержения произошли в позднем плиоцене, примерно 2 млн лет назад. Затем крупные фазы активности отмечались в начале среднего плейстоцена, в позднем плейстоцене и голоцене (<10 тыс. лет назад).

Во время оледенения конца среднего—начала позднего плейстоцена между Передовым хребтом и подножием Эльбруса образовалась широкая долина. Слившиеся ледники в виде одного языка продвинулись к северу по

долине Малки на 15—17 км, работав ее и сформировав троговую долину.

Затем, скорее всего в начале позднего плейстоцена, дацитовые лавовые потоки, центры излияний которых неизвестны, заполнили сначала троговую долину р.Кизилкол, а потом и р.Малки на протяжении 10—15 км. Мощность лав достигала более 100 м.

После некоторого перерыва, зафиксированного врезанием реки в излившиеся лавы, произошло эксплозивное извержение Эльбруса с выбросами дацитовых туфов, вулканических бомб и образованием туфобрекчий. Весь этот эксплозивный материал переносился временными водными потоками по эрозионной долине глубиной не менее нескольких десятков метров, располагавшейся как в палеозойских породах, так и в дацитовых лавах предыдущих излияний.

Башни сложены вулканогенно-обломочным материалом пепельно-серого цвета с хорошо различной горизонтальной слоистостью, выраженной чередованием слоев с обломками разного размера. Вулканогенные породы представлены слабокатанными или угловатыми обломками дацитов размером от долей сантиметра до 10—20 см. В основании башен материал более грубый, а выше обломки становятся мельче. Затем ритм повторяется, что свидетельствует о периодическом сносе материала.

В западной части северного склона Эльбруса, между ледниками Уллучиран и Карачул, развита такая же вулканогенно-обломочная толща с ритмической слоистостью, перекрываемая моренами последнего верхнеплейстоценового оледенения. Это подтверждает предположение об извержении в районе



В местах, где валунная толща перекрывает вулканогенно-обломочную, сохранились целые бастионы из слившихся башен.

нынешнего конуса вулкана, поскольку восточная вершина образовалась значительно позже, в голоцене.

После прекращения извержений и заполнения обломочным материалом долины возник новый ледниковый покров, отступающий, скорее всего, последнему позднеплейстоценовому оледенению. Ледник, спускавшийся с северных склонов Эльбруса, перекрыл и вулканогенно-обломочную толщу, и лавовый поток в долине Малки, выработав в нем трог, остатки которого мы видим сейчас. Лишь после этого река стала откапывать свое прежнее днище, существовавшее до излияния Малкинского потока, формируя глубокие ущелья.

Башни и бастионы оврага Кала-Кулак как раз и представляют собой останцы пород, когда-то перекрытых мощным (15–20 м) моренным покровом, состоящим из крупных (2–3 м), почти неокатанных валунов дацитовых лав разного цвета. Эти валуны бронировали более рыхлую, светло-серую вулканогенно-обломочную, лахаровую толщу и предохраняли ее от размыва. Сейчас моренная покрывка практически разрушена, и вышедшие на поверхность вулканогенно-обломочные породы, разрушаясь, приобрели форму причудливых башен с остроконечными вершинами. Но в овраге Кала-Кулак сохранились места, где валунная толща перекрывает вулканогенно-обломочную,

и тогда можно наблюдать целые бастионы из слившихся башен.

В голоцене все эти отложения перекрывались дацитовыми лавовыми потоками по крайней мере четырех генераций с прекрасно сохранившейся первичной поверхностью типа «аа» — лав с крутыми бортами и напорными валами.

Весь этот уголок Северного Приэльбрусья с причудливыми башнями, водопадом, глубокими ущельями, теплыми источниками минеральных вод, свежими потоками лав, моренами представляет собой прекрасное место для туристов. Недаром Правительство Кабардино-Балкарии планирует создать на базе источников Джилысу рекреационную территорию. ■

# Трижды предсказанный архипелаг

М.В.Дорожкина

Л.М.Саватюгин,

доктор географических наук

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт  
Санкт-Петербург

**А**рхипелаг Земля Франца-Иосифа, расположенный на северо-востоке Баренцева моря, — самая северная территория нашей страны, а мыс Флигели на о.Рудольфа (81°50'35"с.ш., 59°14'22"в.д.) — крайняя северная точка не только России, но и Европы, и Евразии. Любопытна история предсказания и открытия этих российских островов, носящих имя австрийского императора.

## «Быть немалому острову»

Впервые мысль о возможном существовании этого архипелага высказал в 1763 г. великий русский ученый М.В.Ломоносов. В своем капитальном труде «Краткое описание разных путешествий по северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» он отмечал:

*«...может быть, и не в самой полярной точке, однако близкой должно быть немалому острову или еще и многим». Возможно, это «великий остров, который лежит к северу далее 80 градусов и 11 минут, склоняясь от Шпицбергена к востоку» [1].*

Спустя более 100 лет, в 1865 г., появилась статья «Соображения о новом пути для открытий в Северном Полярном океане» русского морского офицера барона Николая Густавовича Шиллинга (1828—1910).

© Дорожкина М.В., Саватюгин Л.М., 2009

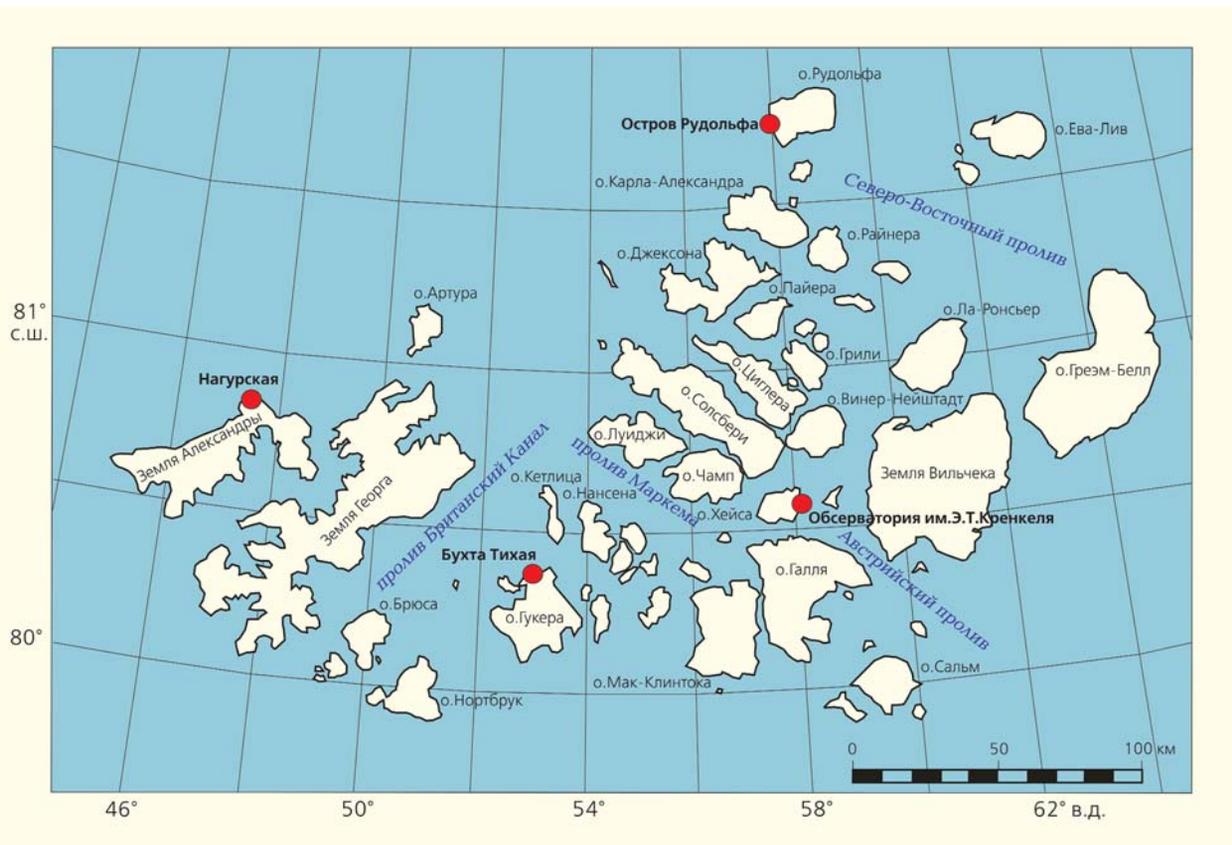
Выпускник Морского кадетского корпуса, Шиллинг в 1849—1853 гг. плавал на Балтийском, Северном и Черном морях, а позже — в Тихом и Атлантическом океанах. В 1887 г. получил чин вице-адмирала.

На основе анализа движения льдов в западной части Северного Ледовитого океана он высказал предположение о существовании неизвестной суши между архипелагами Шпицберген и Новая Земля:

*«Между Шпицбергом и восточным берегом Гренландии всеми мореплавателями замечено сильное течение от NE к SW, которое постоянно несет огромные массы плавающего льда по этому направлению. Неоднократно суда испытывали весьма неприятным образом действие этого течения, быв увлекаемы им на сотни миль, часто против ветра, при тщетных усилиях экипажа. Придвинув льды к восточному берегу Гренландии, это течение от NE громоздит тут льдину на льдину и спирает их так, что плавание в этих местах решительно невозможно. Это самое явление, замеченное у восточных берегов Шпицбергена и Новой Земли и у всего северного берега Сибири, позволяет положительно утверждать, что и у этих берегов оно происходит от тех же причин, т.е. от общего течения моря к SW. Относительно легкое плавание по западной стороне Новой Земли, Шпицбергена и Гренландии, защищенное этими остро-*

*вами от плавающих льдов, подтверждает существование такого течения, в котором уже никто не сомневается, и ему надлежит по преимуществу приписать вышеупомянутые успехи мореплавания к западу от Шпицбергена. Только вряд ли одна группа островов Шпицбергена в состоянии удержать огромные массы льда, занимающие пространство в несколько тысяч квадратных миль, в постоянно одинаковом положении между Шпицбергом и Новой Землей. Не представляет ли нам это обстоятельство, равно как и относительно легкое достижение северной части Шпицбергена, право думать, что между этим островом и Новой Землей находится еще не открытая земля, которая простирается к северу дальше Шпицбергена и удерживает льды за собою? Если бы этого не было, то, вероятно, от действия течения к SW Нордкап и весь берег Лапландии были бы покрыты вечным льдом, подобно берегам Сибири» [2].*

Пять лет спустя после опубликования статьи Шиллинга, в декабре 1870 г., на объединенном заседании отделений физической и математической географии Императорского Русского географического общества (ИРГО) знаменитый метеоролог А.И.Воейков и знаток Севера, инициатор освоения Северного морского пути, М.К.Сидоров подняли вопрос о необходимости организации экспедиции в русские северные моря.



Карта архипелага Земля Франца-Иосифа. Кружками обозначены полярные станции и обсерватория им.Э.Т.Кренкеля.

Для рассмотрения этого предложения и разработки плана снаряжения экспедиции на заседании была избрана комиссия. Кроме Воейкова и Сидорова в нее вошли П.А.Кропоткин (секретарь), П.П.Семенов, Н.Г.Шиллинг (председатель) и др. Доклад комиссии по снаряжению экспедиции был поручен Кропоткину [3], который, ознакомившись в процессе работы с уже упомянутой статьей Шиллинга, полностью принял доводы автора в пользу существования между архипелагами Шпицберген и Новая Земля неизвестной суши. Практически не меняя текста, он перенес соответствующую часть статьи Шиллинга в доклад, отметив, что экспедиция могла бы сделать также попытку добраться до большой неизвестной земли, которая должна находиться «не в далеком расстоянии от Новой Земли».

Хотя честь первого предсказания существования Земли Франца-Иосифа часто приписывалась Кропоткину, сам он отмечал, что это авторство принадлежит именно Шиллингу: *«Возможное существование такого архипелага указал в своем превосходном, но малоизвестном докладе о течениях в Ледовитом океане русский флотский офицер барон Шиллинг. Когда я прочитал этот доклад, а также путешествие Литке на Новую Землю и познакомился с общими условиями этой части Ледовитого океана, то сразу увидел, что предположение Шиллинга должно быть верно».*

Зачитанный на заседании Совета ИРГО 17 марта 1871 г., доклад вызвал самый живой интерес. Члены Совета одобрили представленную программу работ экспедиции и постановили ходатайствовать перед правительством о ее снаряжении. Од-

нако Министерство финансов отказалось ассигновать необходимую для организации сумму в 30–40 тыс. руб., вследствие чего проект так и не был осуществлен.

### Австро-венгерская экспедиция

Два года спустя, 30 августа 1873 г., австро-венгерская экспедиция на судне «Тегетгоф» под руководством лейтенанта австрийского флота Карла Вайпрехта и поручика австрийской армии Юлиуса Пайера случайно открыла предсказанную Ломоносовым, Шиллингом и Кропоткиным «большую неизвестную землю». В честь императора Австро-Венгрии ее назвали Землей Франца-Иосифа.

Экспедиция была организована по инициативе немецкого географа Августа Петерманна



Юлиус Пайер.

при поддержке камергера австрийского двора графа Г.И.Н.Вильчека, известного ученого-мецената, который пожертвовал 40 тыс. гульденов. Значительную материальную помощь экспедиции оказали также герцог Саксен-Веймарский и город Франкфурт. Общая сумма пожертвований составила 210 тыс. гульденов.

Интересно отметить, что первоначальной задачей экспедиции было достижение Северного полюса. Однако уже 7 декабря 1871 г., когда на заседании Венской академии обсуждались перспективы организации такой экспедиции на двух судах, Вайпрехт, отметив дороговизну такого мероприятия, изложил план экспедиции по Северо-Восточному проходу, конечной целью которой должно стать достижение Берингова пролива. Это был очень дальновидный ход, — получить необходимую финансовую поддержку от частных лиц на экспедицию к Северному полюсу было весьма затруднительно. Экспедиция, направленная на исследование и освоение важного в торговом и экономическом отношении Северо-Восточного прохода, несомненно, могла за-

интересовать представителей капитала.

Несмотря на то, что со времени основания экспедиции до выхода ее в море прошло всего пять месяцев, она была прекрасно подготовлена и снабжена. Специально для экспедиции было построено судно «Тегетгоф» водоизмещением 220 т, оборудованное паровой машиной мощностью 100 л.с. На нем имелся запас угля в 130 т и разнообразного продовольствия, рассчитанного на два с половиной — три года плавания. Экипаж, включая руководителей экспедиции, состоял из 24 человек.

Судно вышло из Бремерхафена (Германия) 13 июня 1872 г. и 3 июля прибыло в Тромсё (Норвегия). Отсюда, пополнив запас угля и произведя необходимые ремонтные работы, 14 июля экспедиция взяла курс на северо-восток.

Вечером 25 июля на 74°15'с.ш. участники экспедиции встретил первый лед. 29 июля на 74°44'с.ш., 52°08'в.д. «Тегетгоф» смог продолжить путь во льдах лишь с помощью паровой машины, при этом частую судну приходилось таранить лед с разбега. 15 августа «Тегетгоф» со вспомогательным судном «Исборн» достигли о.Баренца, где организовали продовольственное депо, которое должно было служить первым пристанищем экспедиции в случае потери судна. Отсюда 21 августа 1872 г. «Тегетгоф» продолжил свой путь в северо-восточном направлении. *«Тем временем, — писал позже Пайер, — перспектива в отношении цели нашего путешествия сильно ухудшилась. Нечего было и думать проделать весь далекий путь до мыса Челюскина в текущем году, как мы сначала предполагали... свободной воды становилось все меньше, а плотность льда все возрастала, особенно у берега. В полдень мы вошли в полынью. Но уже в следующую ночь сплошной ледяной барьер преградил нам путь. Мы оказались вынужден-*



Карл Вайпрехт.

*ными стать на ледяной якорь в ожидании разрежения льдов... Этот день был для нас роковым. Почти сразу же после закрепления судна за льдину лед стал нажимать со всех сторон и плотно запер нас. Вскоре вокруг нас воды совсем не стало, и судно наше распрощалось с ней навсегда!»* [4]. Таким образом, 22 августа 1872 г. на 76°22'с.ш., 62°03'в.д. «Тегетгоф» оказался зажат льдами и начал дрейфовать на северо-восток. Все попытки освободить судно из ледового плена оказались бесполезными. 2 октября «Тегетгоф» пересек 77°с.ш., а 12 октября на горизонте скрылись последние очертания Новой Земли.

28 октября 1872 г. наступила полярная ночь. К этому времени на судне были закончены все приготовления к зимовке, которая прошла без особых происшествий, несмотря на то что подвижки льда происходили практически каждый день. Наибольшей трудностью для участников экспедиции во время зимовки стали не опасность или темнота полярной ночи, а нравственные страдания из-за «отсутствия цели и деятельности, направленной на ее достижение» [4].

В середине февраля 1873 г. направление дрейфа судна изменилось с северо-восточного на северо-западное. Вскоре, 16 февраля, над горизонтом появилось солнце, в честь которого на «Тегетгофе» устроили большой праздник. С приходом весны у участников экспедиции вновь воскресли надежды на освобождение корабля из ледового плена. Но все усилия оказались тщетными — ни окапывание судна в течение трех с половиной месяцев, ни взрывание льда не привели к желаемой цели. 25 августа полярный день закончился. Приближалась осень и вторая вы-

нужденная зимовка, к которой экспедиция шла с чувством тяжелого разочарования. «В отчаянии представляли мы себе, как не позднее чем через год мы вернемся на родину и единственным результатом наших работ будет проложженный на карте дрейф «Тегетгофа», — писал о тех днях Пайер [4].

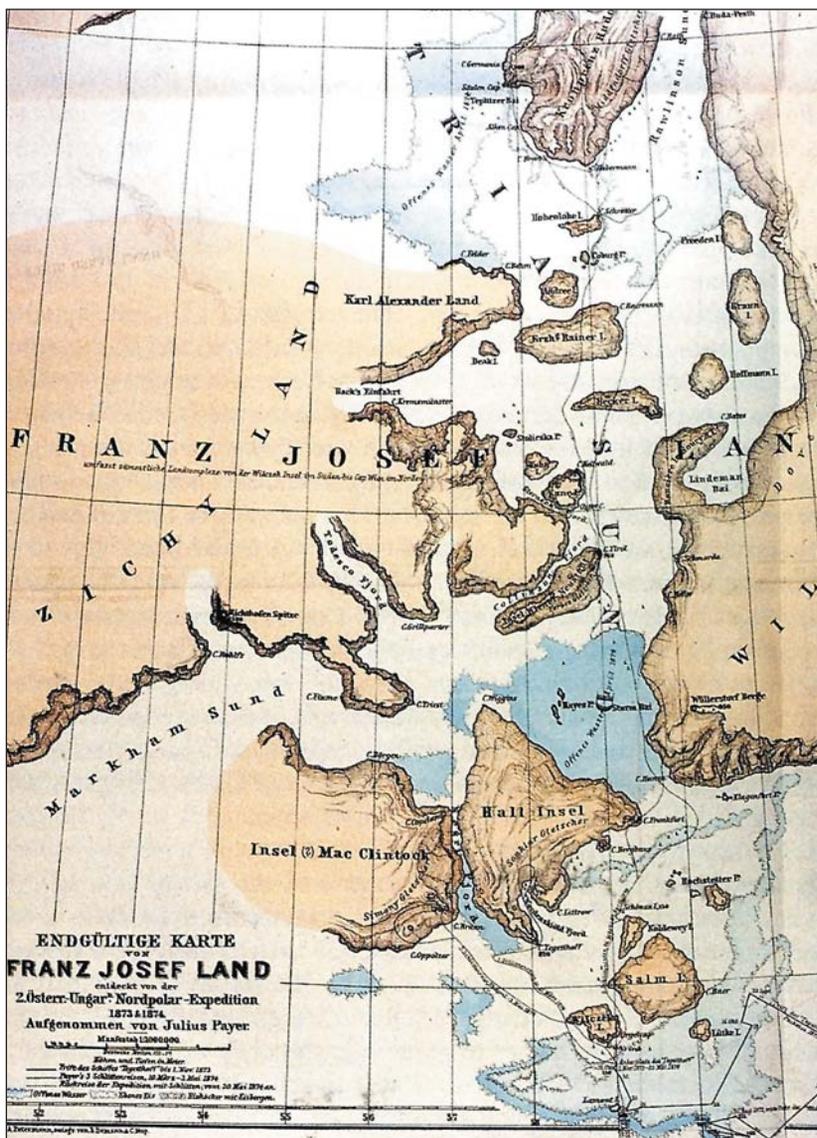
Однако впереди участников экспедиции ждала величайшая неожиданность. 30 августа 1873 г., когда судно находилось на 79°43'с.ш. и 59°33'в.д., на горизонте показалась земля.

«Было около полудня. Мы стояли, облокотившись на

борт, и смотрели в облака тумана, между которыми изредка проскакивал солнечный луч, как вдруг заметили в одном из таких промежутков далеко на северо-западе суровые скалистые горы. Через несколько минут перед нашими глазами предстала в солнечном сиянии прекрасная альпийская страна! В первое мгновение все замерли, точно прикованные к месту, и не верили глазам. Убедившись в действительности нашего счастья, мы радостно, громко закричали: «Земля, земля, наконец-то земля!», — так описывал Пайер открытие новой земли [4]. Тысячелетия миновали, а человечество ничего не знало о существовании этой земли. Открытие ее было наградой кучке неудачливых моряков за силу их надежды и выдержку в период тяжелых испытаний. Эта кучка людей, наверно, считавшихся на родине погибшими, дала новооткрытой стране имя земли кайзера Франца-Иосифа» [4]. Первый увиденный возвышенный участок земли получил название мыс Тегетгоф. Сбылись предсказания российских ученых о существовании обширной суши между архипелагами Шпицберген и Новая Земля!

В конце августа — начале сентября 1873 г. северными ветрами судно было отнесено несколько на юг, и очертания земли утратили свою ясность. Однако в конце сентября «Тегетгоф» снова стал дрейфовать в северо-восточном направлении и достиг 79°58'с.ш. — самой северной точки своего дрейфа. В 12 милях к северу от судна поднимались скалистые кряжи островов, получивших имя в честь австрийского геолога и географа Ф.Х.Хохштеттера, председателя Географического общества Вены в 1866—1882 гг.

Шестеро участников экспедиции во главе с Пайером решили воспользоваться благоприятным случаем и достигнуть земли пешком по льду. Однако когда позади осталась половина пути, неожиданно опустился туман.



Фрагмент карты Земли Франца-Иосифа, составленной Ю.Пайером.

Участники похода были вынуждены повернуть обратно и после долгих скитаний возвратиться на судно.

Во второй половине октября непрерывные северные ветры отогнали льдину с «Тегетгофом» к юго-западу, по направлению к новооткрытой суше. Чем ближе судно подносило к земле, тем опаснее становилось положение участников экспедиции: льдина, в которую вмерзло судно, в результате постоянных толчков и разрушения катастрофически уменьшилась. К 15 октября ее поперечник составлял всего несколько сотен шагов. Никто не сомневался, что корабль ждет неминуемая гибель, однако 31 октября 1873 г. судно пригнало на расстояние трех миль к невысокому береговому массиву. Здесь, на 79°51'с.ш. и 58°56'в.д., экспедиции предстояло провести еще одну зимовку.

Утром 1 ноября 1873 г. участники экспедиции предприняли вторую попытку достичь новооткрытой земли. Преодолев ледяные валы высотой до 50 футов и равнину шириной две мили, образованную молодым льдом, исследователи впервые ступили на архипелаг Земля Франца-Иосифа.

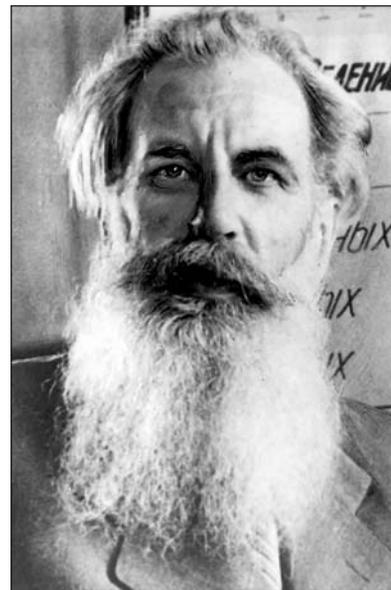
*«Наша радость от посещения земли была так велика, что все, что мы здесь находили, вызывало в нас незаслуженные восторги. Мы заглядывали в каждую расщелину между скалами, трогали руками каждую каменную глыбу. Мы восторгалась самыми обычными формами и контурами. Первым вопросом, интересовавшим нас, было геологическое строение земли. Порода оказалась состоящей из столбчатого долерита. Неописуемо бедной была растительность. Казалось, что она состоит всего лишь из нескольких лишайников. Нигде не нашли мы ожидаемого плавника. Мы думали, что встретим следы оленей и песцов, но, несмотря на тщательные поиски, не обнаружили ничего. Страна казалась лишенной*

*жизни. Мы поднялись на скалистую возвышенность в южной части острова, откуда открывался вид на покрытое льдом море. С вершины его видно было наше судно, и горизонт приходился в нескольких милях позади него. Мы оказались очень восприимчивыми к новым впечатлениям, и потому золотистые испарения, подымавшиеся над горизонтом из невидимой полынью, казались для нас полными той прелести, какая свойственна ландшафтам Цейлона» [4].* Остров архипелага, на который впервые высадилась экспедиция, получил имя о. Вильчека.

2 ноября 1873 г. участники экспедиции установили на этом острове гурий из камней высотой в шесть футов, укрепив в нем австро-венгерский флаг.

### Русский флаг на Земле Франца-Иосифа

12 августа 1914 г. барк «Герта», снаряженный для поисков пропавшей экспедиции Г.Я.Седова и его спутников, вышел из Александровска-на-Мурмане к берегам Земли Франца-Иосифа. Задержанная между 75° и 77°30'с.ш. льдами, «Герта» только 29 августа смогла подойти к мысу Флора о.Нортбрук. Здесь возглавлявший экспедицию Российского морского министерства капитан 1-го ранга Исхак Ибрагимович Ислямов обнаружил записки, из содержимого которых он узнал о гибели Седова, судьбе экспедиции лейтенанта Г.Л.Брусилова и о том, что судно «Святой мученик Фока» 8 августа покинуло мыс Флора и направилось к мысу Грант о.Земля Александры, откуда далее предполагало взять курс на юг [5]. Экспедиция Ислямова пробыла на мысе Флора сутки. За это время здесь был устроен склад продовольствия и теплой одежды на случай возвращения по льду участников экспедиции Брусилова и осмотрен берег острова до мыса Ниль.



Отто Юльевич Шмидт.

29 августа 1914 г. в связи с начавшейся Первой мировой войной участники спасательной экспедиции подняли на мысе Флора русский флаг в знак присоединения архипелага Земля Франца-Иосифа к владениям Российской империи. Интересно отметить, что в подъеме флага участвовал 15-летний сын Ислямова Илья Ислямов, входивший в состав экспедиции в качестве юнги.

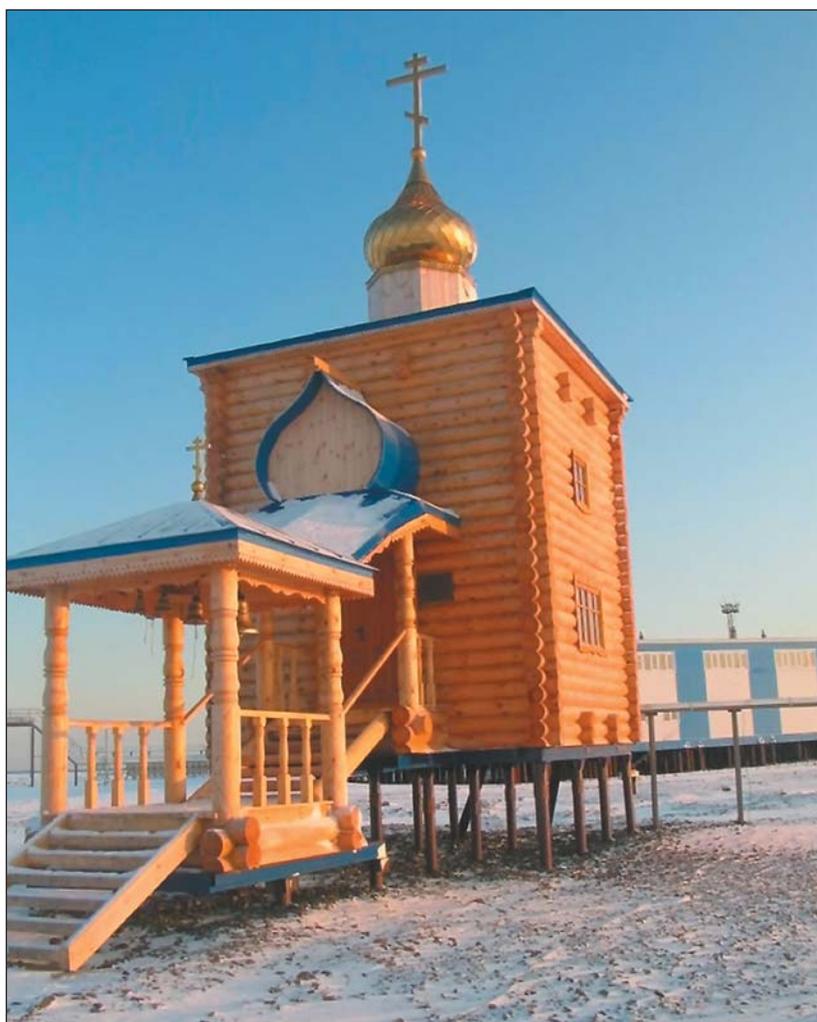
### Территория СССР

Декретом ЦИК СССР от 15 апреля 1926 г. архипелаг Земля Франца-Иосифа был объявлен территорией СССР. Учитывая всевозрастающий интерес к северным островам со стороны целого ряда европейских государств, в 1929 г. советское правительство приняло решение об организации специальной экспедиции на Землю Франца-Иосифа. Проект экспедиции был разработан Полярной комиссией АН СССР под руководством А.Е.Ферсмана и одобрен Арктической комиссией. 5 марта 1929 г. представленный проект постановления был утвержден СНК СССР, и на экспедицию бы-



Полярная станция Нагурская. Фото 2008 г.

Здесь и далее фото Л.М.Саватюгина



Храм святителя Николая Чудотворца на станции Нагурской — самый северный в мире православный храм (возведен в 2008 г.).

ли ассигнованы необходимые средства. Организация экспедиции, основной задачей которой стало строительство на архипелаге геофизической обсерватории, была поручена Институту по изучению Севера (ныне Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт Роскомгидромета).

21 июля 1929 г. экспедиция под руководством О.Ю.Шмидта (заместители Р.Л.Самойлович и В.Ю.Визе) на ледокольном пароходе «Георгий Седов» (капитан В.И.Воронин) вышла из Архангельска и взяла курс на архипелаг. В состав экспедиции входили научные сотрудники Г.П.Горбунов, И.М.Иванов, А.Ф.Лактионов. На  $75^{\circ}47'$ с.ш.,  $44^{\circ}45'$ в.д. судно встретило крупнобитый лед. С 24 июля «Георгий Седов» шел вперед по разводьям, продвижение за некоторые сутки не превышало пяти миль, а 25 июля составило всего лишь длину корпуса судна. На  $79^{\circ}14'$ с.ш.,  $47^{\circ}20'$ в.д. «Георгий Седов» вышел на чистую воду и 29 июля, на восьмые сутки плавания, подошел к Земле Франца-Иосифа [7].

Согласно первоначальному плану, радиостанцию и обсерваторию предполагалось построить на мысе Флора. Судну пришлось пробиваться к нему через девятибалльный лед в условиях плохой видимости. Санная партия экспедиции все же добралась до мыса и водрузила на нем 30 июля 1929 г. советский флаг, но было принято решение перенести строительство станции в бухту Тихую на о.Гукера. Выгрузка материалов для строительства, снаряжения и продовольствия проходила круглосуточно и была закончена к 12 августа. На берегу бухты Тихая были построены жилые дома и установлена радиомачта. «Георгий Седов» тем временем направился на север по Британскому Каналу, выполняя гидрологические работы. Судно прошло до  $82^{\circ}14'$ с.ш., поставив новый рекорд продвижения во льдах. На о.Нансена были собраны образцы геологических пород.

24 августа, во время высадки на о. Рудольфа, участники экспедиции произвели поиски могилы Седова, которые, однако, не дали результатов.

29 августа пароход возвратился в бухту Тихую, а 30 августа была торжественно открыта новая станция. В 13 ч 30 мин на станции был поднят советский флаг, и в эфир послана первая радиограмма. На митинге по случаю открытия станции Шмидт объявил Землю Франца-Иосифа принадлежащей СССР: *«Правительство СССР постановило признать Землю Франца-Иосифа во всем полярном секторе входящей в состав союзных республик. В силу данных мне полномочий объявляю Землю Франца-Иосифа территорией СССР»* [5].

В 1932 г. Советский Союз открыл на архипелаге Земля Франца-Иосифа полярную станцию Остров Рудольфа (на о. Рудольфа). Позже, в 1952 г., на Земле Александры была открыта полярная станция Нагурская, а в 1957 г. на о. Хейса основана Геофизическая обсерватория им. Э.Т. Кренкеля.

На станциях проводились регулярные метеорологические, гидрологические, геофизические, магнитные наблюдения и исследования в области геологии и биологии. Вот краткая географическая характеристика острова.

### Географическая характеристика

Общая площадь архипелага, насчитывающего 191 остров, составляет 16 134 км<sup>2</sup>. Архипелаг делится на три части: восточную с наиболее крупными островами Земля Вильчека (2000 км<sup>2</sup>) и Грэм-Белл (1700 км<sup>2</sup>), отделенную от других Австрийским проливом; центральную — между проливами Австрийский Канал и Британский Канал и западную — к западу от Британского Канала, включающую в себя самый крупный остров архипела-



Геофизическая обсерватория им. Э.Т. Кренкеля. Фото 2008 г.

га — Землю Георга (2900 км<sup>2</sup>). Большая часть островов архипелага сложена песчаниками, алевролитами и известняками, перекрытыми эффузивной толщей горизонтальных базальтовых покровов. Острова, как правило, представляют собой покрытые ледниками (общей площадью 13 735 км<sup>2</sup>) останцы обширного базальтового плато (высотой до 620 м), а проливы (глубиной до 500—600 м) — широкие троговые долины, выпавшие ледниками. Главные элементы ледниковых покровов — ледниковые купола и выводные ледники, от края которых откалываются айсберги, свободная ото льда поверхность представлена небольшими по площади оазисами и нунатаками. Сравнительно крупные свободные ото льда территории (на островах Земля Александры, Земля Георга, Грэм-Белл и Хейса) имеют холмистый рельеф. Климат архипелага типично арктический. Средняя годовая температура до  $-12^{\circ}\text{C}$  (о. Рудольфа); средние температуры июля от  $-1.2^{\circ}\text{C}$  в бухте Тихой (о. Гукера) до  $1.6^{\circ}\text{C}$  (о. Хейса);

средняя температура января около  $-24^{\circ}\text{C}$  (минимальные температуры зимой до  $-52^{\circ}\text{C}$ ), ветры достигают 40 м/с. Осадков выпадает от 200—300 до 500—550 мм (в зоне аккумуляции ледниковых куполов) в год. На островах насчитывается до тысячи озер (глубиной до 10 м и площадью до 2 км<sup>2</sup>) и несколько рек длиной 10—15 км. Типичны ландшафты зоны арктических пустынь. В растительном покрове господствуют мхи и лишайники. Из млекопитающих встречается белый медведь и реже песец. В водах, омывающих острова, водятся нерпа, морской заяц, гренландский тюлень, морж, нарвал и белуха. Наиболее многочисленны птицы: люрики, чистики, кайры, моевки, белые чайки, бургомистры и др.

В настоящее время на архипелаге работает лишь геофизическая обсерватория на о. Хейса. Здесь же располагается самое северное в мире почтовое отделение «Архангельск 163100», оно открыто в течение одного часа, с 10 до 11 ч во вторник, среду, четверг и пятницу.



Осадкомер на метеостанции о.Хейса.

Фото М.В.Гаврило

\* \* \*

23 апреля 1994 г. на территории архипелага Земля Франца-Иосифа и прилегающей акватории Баренцева моря и Северного Ледовитого океана распоряжением Правительства Российской Федерации был создан государственный природный заказник федерального подчинения Земля Франца-Иосифа. Основная цель его создания — сохранение ландшафтов высокоарктических островов, в частности мест размножения белого медведя, морских млекопитающих, мест массового

гнездования птиц. Кроме того, в задачи заповедника входит сохранение памятников истории освоения Арктики, связанных с именами Ф.Нансена, Ф.Джексона, Г.Я.Седова и других полярных исследователей. Согласно «Основным направлениям государственной политики по развитию системы государственных природных заповедников и национальных парков в РФ на период до 2015 г.», территория заказника в 2007—2010 гг. должна войти в состав национального парка Русская Арктика.

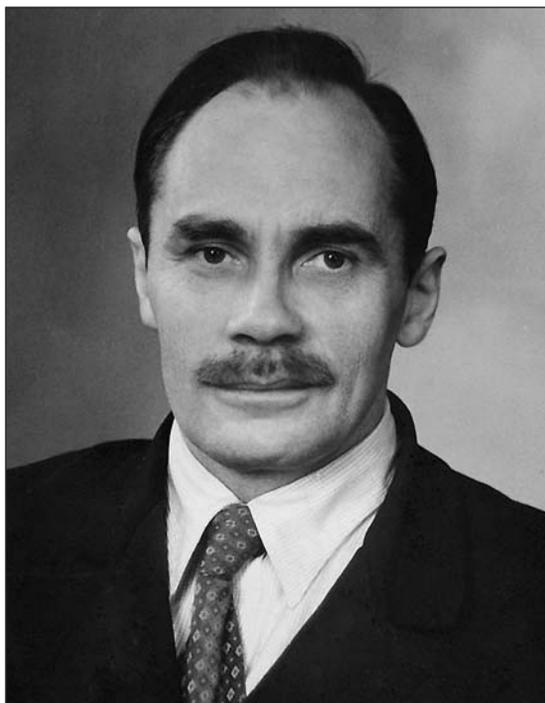
В октябре 2004 г. на Земле Александры на станции Нагурской была установлена памятная доска в знак того, что здесь будет создана первая российская база, с которой начнется освоение Арктики в XXI в., а в сентябре 2008 г. здесь же, вблизи самой северной погранзащиты России, прошло выездное заседание Совета безопасности России, посвященное роли России в Арктике. Будем надеяться, что и полярные исследования на русском архипелаге с австрийским названием будут продолжаться. ■

## Литература

1. Ломоносов М.В. Для пользы общества... / Ред. Ю.В.Бондарев. М., 1990.
2. Шиллинг Н.Г. // Морской сборник. 1865. №5. Т.LXXVIII. С.213—224.
3. Доклад комиссии по снаряжению экспедиции в северные моря, составленный П.А.Кропоткиным при содействии А.И.Воейкова, М.А.Рыкачева, барона Н.Г.Шиллинга, Ф.В.Шмидта и Ф.Ф.Яржинского // Известия Императорского Русского географического общества. 1871. Т.VII. №3. С.29—117.
4. Пайер Ю. 725 дней во льдах Арктики. Австро-венгерская полярная экспедиция 1871—1874 гг. Л., 1935.
5. Брейтфус Л. // Записки по гидрографии. 1915. Т.39. Вып.2. С.279—322.
6. Жданко М. // Записки по гидрографии. 1914. Т.38. Вып.4. С.615—620.
7. Белов М.И. Советское арктическое мореплавание 1917—1932 гг. Л., 1959.

# ВЕХИ ЖИЗНИ И ТВОРЧЕСТВА

*К 100-летию со дня рождения А.А.Малиновского*



Александр Александрович Малиновский  
(12.07.1909—16.04.1996). Фото 1955 г.

12 июля 2009 г. исполнилось 100 лет со дня рождения замечательного отечественного врача, биолога и генетика, доктора биологических наук, профессора Александра Александровича Малиновского. Выпускник медицинского факультета Московского университета (в то время уже ставшего 1-м Московским медицинским институтом), ученик и сотрудник Н.К.Кольцова, Малиновский по самой сути своего мышления и всей своей научной деятельности несомненно принадлежит к московской или, говоря шире, русской школе естествоиспытателей. Отличительные черты этой школы, сформировавшейся в лоне Московского университета и освященной именами А.П.Богданова, Д.Н.Анучина, Д.Н.Зернова, М.А.Мензбира и др., — не только необыкновенная научная добросовестность и широкий круг исследовательских интересов, свежесть и смелость научного поиска, но и неуклонное стремление за каждым новооткрытым фактом, при создании каждой оригинальной теории, связывающей в единую цепь эти новооткрытые факты, не потерять видение некой общей картины мироздания. Именно благодаря такому качеству научное наследие представителей этой школы, в том числе и А.А.Малиновского, имеет непреходящий характер, их гипотезы и теории до сих пор не теряют плодотворности.

Многие свои работы Александр Александрович опубликовал в нашем журнале. Он стал автором «Природы» еще в 1947 г., а одна из его последних теоретических работ, «Общая теория систем в биологии и медицине», вышла спустя 40 лет\*. Александр Александрович был не просто постоянным и всегда желанным автором журнала, но и нашим другом. К нему обращались за советом по самым разным вопросам, а его рецензии оказывали неоценимую помощь в работе редактора. О том, каким человеком и ученым был Александр Александрович Малиновский, рассказывает его родственник В.С.Клебанер. О своем учителе вспоминает один из его учеников и последователей, Н.Н.Богданов.

\* Список публикаций Малиновского в «Природе» см. в конце подборки.

# «Он человек был, человек во всем»\*

В.С.Клебанер,

кандидат экономических наук

Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН  
Москва

Александр Александрович Малиновский родился 12 июля 1909 г. в Париже, где его родители, профессиональные революционеры, находились в эмиграции. Отец Александр Александрович Малиновский, по литературному псевдониму — Александр Богданов, до 1909 г. был одним из лидеров большевиков. Мать, Анфуса Ивановна Смирнова, перенесшая тюрьму и ссылки, болела туберкулезом. В 1909 г. Богданов — член ЦК и один из лидеров Социал-демократической партии, а также один из основателей большевистской фракции, мыслитель и философ — имел уже европейскую известность. Кажется бы, сбывается его давняя мечта — на Капри при поддержке Горького организуется партийная рабочая школа. Но вдруг, почти одновременно с рождением сына, один за другим на него обрушиваются удары, прежде всего со стороны Ленина и его окружения. Сначала его выводят из Большевистского центра, через год — из ЦК партии. В 1913 г., используя амнистию, он возвращается в Россию. С началом Первой мировой войны его призывают на фронт как военного врача, а через год в связи с серьезным заболеванием освобождают от службы в армии. В 1914 г. смертельно больная Смирнова вместе с малень-

\* У.Шекспир. «Гамлет». Акт I, сцена 2 (перевод М.Л.Лозинского).

ким сыном возвращается в Россию. Зная, что жить ей осталось недолго (умерла в 1915 г. в Барнауле), она доверила воспитание сына своей подруге — Лидии Павловне Павловой. Так Саша оказался в Москве в доме своей воспитательницы. Здесь он учился сначала в гимназии Репмана, а затем в гимназии Брюханенко, которая после революции стала образцовой экспериментальной школой.

Содержание сына и его воспитательницы взял на себя Богданов. Ребенку, которого в семье называли «Котиком» (таким прозвищем он обязан одной из партийных кличек отца — «Кот»)\*\*, очень повезло с этими двумя самыми близкими ему людьми. Свою воспитательницу Саша считал самым добрым человеком на свете: никто не влиял на него так, как она. Если он поступал плохо, она лишь тихо говорила: «Ах, Котик, как ты меня огорчил!» И это действовало сильнее всего. Лидия Павловна нянчила воспитанника, а потом — и его детей. До своего отъезда в Одессу (1951) Александр Александрович регулярно навещал ее. Узнав, что она заболела, он тут же выехал в Москву. Очевидцы рассказывали, что Лидия Павловна как будто сдерживала болезнь, ожидая своего воспитанника, а дождавшись и повидав его, умерла (1952).

\*\* Впоследствии близкие друзья А.Малиновского называли его «Кот», совсем как отца.

Немалую роль в воспитании сына играл и его отец. Начиная с 1922 г. в письмах Богданова все чаще упоминается «Котик». Отец и сын становятся все ближе друг к другу. Вот фрагменты из некоторых писем Богданова того времени, сохранившихся в архивах семьи:

Середина июля 1922 г.

<...> Котик здоров, учится, вырос умственно, стал поэтому приятнее по отношению к людям. Уменьшился ли эгоизм его, не знаю, но проявляет он его меньше...

Начало сентября 1922 г.

<...> Котик переходит в другую гимназию, где учится его друг Коля\*\*\*. Вчера держал для этого последний экзамен...

Богданов очень сдержанно, скрывая гордость, сообщает об экзамене своего тринадцатилетнего сына по математике. Саша Малиновский продемонстрировал такие математические способности, особенно в решении задач, требующих пространственного воображения, что понаблюдать это чудо сбежалась толпа преподавателей и учеников...

Начало ноября 1923 г.

<...> Котик здоров, к моим приключениям отнесся вполне философски. Он становится все умнее...

В этом письме особенно важен новый уровень общения Богданова с четырнадцатилетним сыном: от него не скрывают

\*\*\* Николай Попов — друг А.А.Малиновского, в будущем — известный альпинист и изобретатель.



А.А.Богданов с сыном Сашей. Париж. 1913 г.  
Все фотографии из семейного архива



Саша со своей воспитательницей  
Лидией Павловной Павловой. Москва. 1925 г.

«приключения» (так Богданов обозначает свое пятидневное пребывание во внутренней тюрьме на Лубянке), в то время как в предыдущих письмах этот искусный конспиратор маскирует арест, называя его «длительной командировкой», а в ответ встречает спокойную и разумную реакцию сына...

Конец ноября 1923 г.

*Котик растет, умнеет. У него обнаружили, сверх ожидания, и аналитические способности, даже в смысле математики — находит остроумные, хотя и неверные иногда, доказательства теорем. Но все же еще ленив.*

20 июля 1925 г.

*<...> Котик здоров, еще вырос, стал самоувереннее. Сегодня едет один в Ильинку на Волге, — из чего Вы можете ви-*

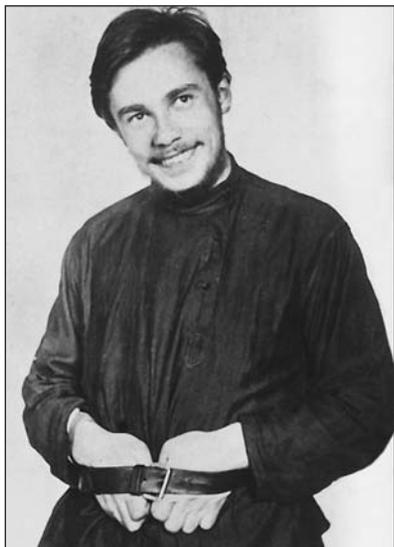
*деть, что он мог бы поехать один и в Крым, но, будучи по наследственности консерватором, предпочитает знакомые места...».*

Итак, перед нами уже почти взрослый человек, напоминающий Богданову его самого...

В 1926 г. Богданов возглавляет созданный им первый в мире Государственный институт переливания крови и с головой уходит в организационную и научную работу; Малиновский — студент медицинского факультета МГУ (впоследствии — 1-го Московского медицинского института). Мечта отца состоялась, а мечта сына — нет: поступить на математический факультет ему, сыну служащего, не удалось, поскольку предпочтение отдавалось детям рабочих и крестьян. Но, быть

может, это сама судьба подарила биологии и медицине шанс приобщиться к математике?

Учась в институте, Малиновский заинтересовался психиатрией (его отец окончил медицинский факультет Харьковского университета в 1899 г. по специальности «лекарь по психиатрии»). Своим первым и главным учителем в этой области он считал великого психиатра — П.Б.Ганнушкина, занятия которого прилежно посещал. Более того, с разрешения профессора он курировал нескольких больных, одну из которых затем выписали из больницы со значительным улучшением состояния. Впоследствии Александр Александрович пользовался авторитетом выдающегося психолога и помогал многим знакомым и «знакомым знакомых»



Студент медицинского факультета  
1-го МГУ. 1929 г.

(разумеется, безвозмездно) не только советами, но и своим обаянием и оптимизмом. Широкий резонанс имели его работы по психологии творчества, а также по роли обратных связей и системных изменений в развитии аутистического мы-

шления шизоидов и шизофреников [1].

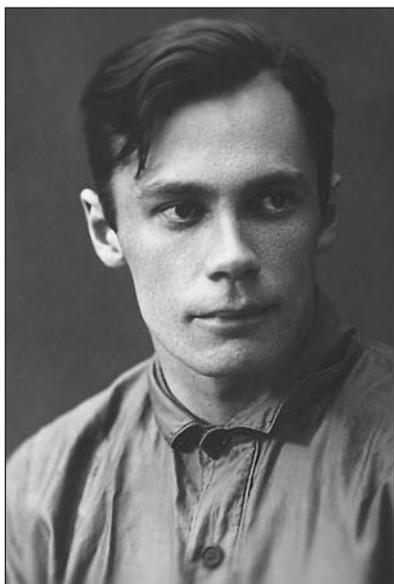
В 1927 г. Богданов провел обменное переливание крови между своим сыном и доктором Малолетковым. Идея обмена состояла в том, что для юноши полезно заменить часть крови кровью пожилого человека, содержащей иммунитет от перенесенных заболеваний, а для пожилого — кровью молодого. Как бы примитивно это ни выглядело ныне, оба участника таких опытов, как правило, на первых порах отмечали улучшение своего здоровья. Однако в то время еще не были выявлены некоторые факторы несовместимости крови. Самый опасный из них, резус-фактор, был открыт в США лишь в 1940 г.

По мнению большинства специалистов, именно резус-несовместимость вызвала гибель Богданова в результате обменного переливания крови. Второй участник опыта, студент Колдомасов, болевший туберкулезом, выздоровел и прожил еще около 50 лет. Крупней-

ший клиницист М.П.Кончаловский, до конца борющийся за жизнь Богданова, впоследствии писал: «мне впервые пришлось видеть такое мужество перед лицом смерти».

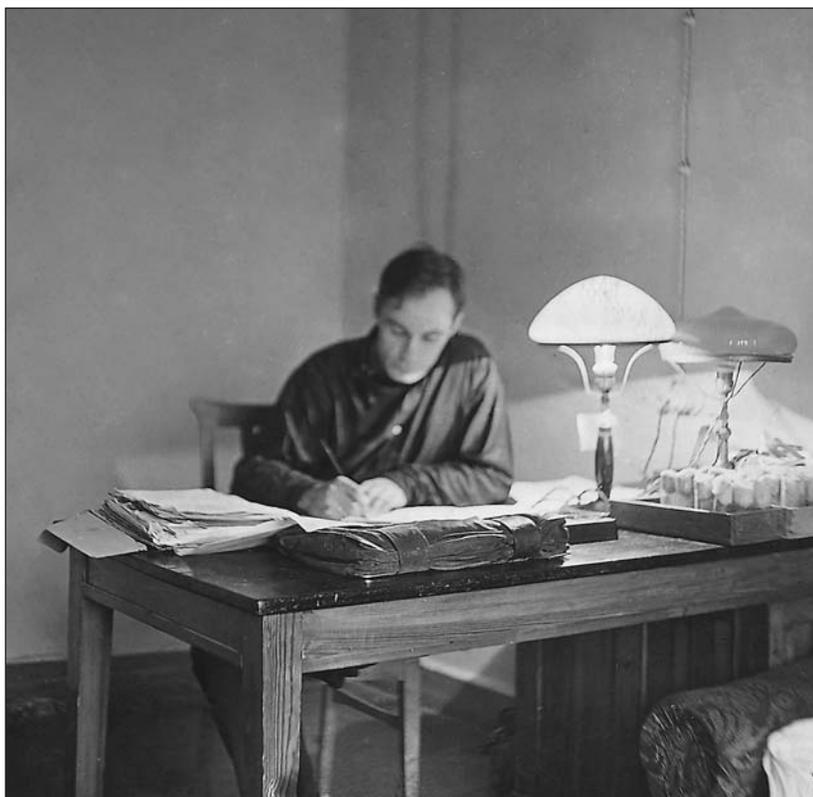
Смерть отца (7 апреля 1928 г.) вызвала у Малиновского тяжелое нервное потрясение. По просьбе жены отца, Н.Б.Богдановой-Малиновской, Александр переехал к ней, в жилое помещение, расположенное в Институте переливания крови. Потом, когда вдове отца, продолжавшей работать в институте, предоставили отдельную квартиру (по просьбе Н.К.Крупской), семья Малиновского жила там же.

Увлечшись еще в юности, не без влияния отца, книгой Э.Кречмера «Строение тела и характер», начинающий студент задумал масштабную и чрезвычайно сложную научную работу по изучению и выяснению происхождения конституциональных типов человека. И этой цели он достиг. Работа получила самую высокую оцен-



Фото, подаренное другу  
А.Г.Лапчинскому, с надписью  
«Пану от Кота».

В Кольцовском институте перед  
защитой диссертации. 1934 г.



ку видных антропологов. Об этом говорит отзыв кафедры антропологии МГУ (очевидно, заведующего кафедрой Я.Я.Рогинского). Его фрагменты мы здесь приводим.

*Работы, связанные с проблемами антропологии, занимают большое место в исследованиях А.А.Малиновского. Они относятся и к морфологии человека, и к расогенезу, и к антропогенезу. <...> В этих работах А.Малиновский, используя данные из целого ряда областей биологии и медицины, включая общую патологию, психиатрию, данные хирургов, терапевтов и т.д., с одной стороны, и по биохимии, генетике и по биологии развития, — с другой, и применив как основной метод математические принципы, решает проблему о причинах дифференциации людей в пределах любой этнической группы на 4 основных типа конституции. Затем автор последовательно, переходя от эмпирически обнаруженных признаков ко все более глубоким процессам в человеческом организме, пришел к оригинальным выводам о наличии двух координат, по которым идет коррелированная изменчивость человеческого организма».*

*<...> А.Малиновским создана весьма широкая и логически стройная картина, объясняющая дифференциацию человеческих типов и корреляцию самых различных признаков, начиная от морфологических и кончая психологическими и патологическими. В последней работе он использует не только математические подходы, но и принцип обратной связи и ряд других системных принципов. Для Малиновского, как теоретика в области биологии и смежных дисциплин, характерно применение математических, кибернетических и системных, в точном смысле этого слова, подходов к решению самых различных задач.*

*Второе направление исследований А.А.Малиновского, связанное с антропологией, — про-*



Счастливая пора. С невестой Р.Д.Смирновой в Лазаревке. 1937 г.

*блема происхождения расовых различий у человека под влиянием социальных и биологических факторов. Изданная в 1947 г. работа («Природа», №7) была одной из первых в этой области, наиболее широко использованных для объяснения происхождения вторичных рас влияние дрейфа генов (или, в другой терминологии, — генетико-автоматических процессов). В работе была развита эта идея и приведен пример, иллюстрирующий роль дрейфа генов у человека, как неравномерное распространение фамилий, ко-*

*торые, как указал Малиновский, передаются вместе с Y-хромосомой, т.е. с хорошо выраженным генетическим признаком. Работа эта основана и на данных о неравномерном развитии культуры, что приводит уже и к социально обусловленной межпопуляционной неравномерности распространения отдельных племен, что свойственно только человеку. <...>*

*Для объяснения ряда неадаптивных и антиадаптивных черт в современном человечестве А.А.Малиновский применил созданное им представление об*



Военный врач А.Малиновский.  
1941 г.

*«экологическом напряжении»... Смысл его — в том, что экологические условия требуют более интенсивного проявления активности во внешней среде, чем это возможно при оптимальном состоянии физиологических функций организма. «Экологическое напряжение», длительно вырабатывавшееся в прошлые эпохи, может реально перейти в наследственные формы путем отбора. Это определило ряд особенностей в физиологии современного человека, играющих ныне отрицательную роль (склонность к переданию, излишнюю тенденцию к экономии сил и т.п.). К этой же категории можно отнести работы Малиновского, подтверждающие мнение А.Вейсмана и Н.К.Кольцова о потере в эволюции предками человека доступной для человека длительности жизни. <...>*

В 1931 г., после окончания 1-го медицинского института, Малиновский становится аспирантом (а затем — научным сотрудником) Института экспериментальной биологии Наркомздрава РСФСР\*, возглавляемого Н.К.Кольцовым. В 1935 г., когда

были восстановлены ученые степени и звания, он защитил диссертацию, посвященную конституциям человека. Кандидат биологических наук Малиновский стал секретарем знаменитой «Эволюционной бригады». Возглавлявший бригаду Д.Д.Ромашов (ученик Н.К.Кольцова и С.С.Четверикова) привлек к работе и двух видных математиков — А.Н.Колмогорова и А.А.Ляпунова. С ними у Малиновского впоследствии сложились дружеские отношения.

Первая генетическая работа Малиновского («Роль генетических и фенотипических явлений в эволюции вида»), опубликованная в 1939 г., открыла список его научных трудов. Ее важный вывод — низкий уровень плейотропии (множественного действия генов) эволюционно выгоден, а мутации с изначально широкой плейотропией вряд ли могут закрепиться в виде. Уже в 30-х годах Малиновский (в числе весьма немногих) смело применял математические методы для решения сложных биологических проблем — таких, как эволюционная целесообразность и пути эволюции генетических механизмов. В итоге он пришел к выводу, что наследственные механизмы наиболее отвечают интересам эволюции вида, а многие особенности этих механизмов обеспечивают наиболее эффективное действие естественного отбора. Вместе с тем он показал, что тенденции ускорения эволюции противоречат требованиям координации развития органов и тканей, и в результате создаются различные оптимальные формы взаимозависимости в индивидуальном развитии.

Одновременно Малиновский занимался общей теорией эволюции популяций, в первую очередь процессами дрейфа и отбора генов. Значение этих работ отметил Колмогоров, указав, что предлагаемая им формула «может быть использована для подтверждения общего положения о существовании опти-

мума частичной изоляции для отбора рецессивных генов, выдвинутого и обоснованного с качественной стороны А.А.Малиновским» [2].

22 июня 1941 г. Малиновский был мобилизован как военный врач 3-го ранга (соответствует старшему лейтенанту) и направлен в военный госпиталь. В октябре 1941 г. участвовал в эвакуации госпиталя из горящего под вражеской бомбежкой города Торжка и в выходе из замыкавшегося кольца окружения. Его потрясла жестокость «цивилизованных европейцев», которые, видя опознавательные знаки госпиталя, продолжали наносить по нему удар за ударом и даже охотились за безоружными людьми. Позднее Малиновский был награжден двумя медалями: «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» и «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.».

К началу 1943 г. он был комиссован и вернулся к научной работе в Институт цитологии, гистологии и эмбриологии АН СССР. Здесь он первым из биологов выясняет приспособительное значение положительных обратных связей и их комбинаций с отрицательными обратными связями (изученными ранее Н.А.Беловым и М.М.Завадовским), рассматривая эти два типа обратных связей как важные функции целостного организма.

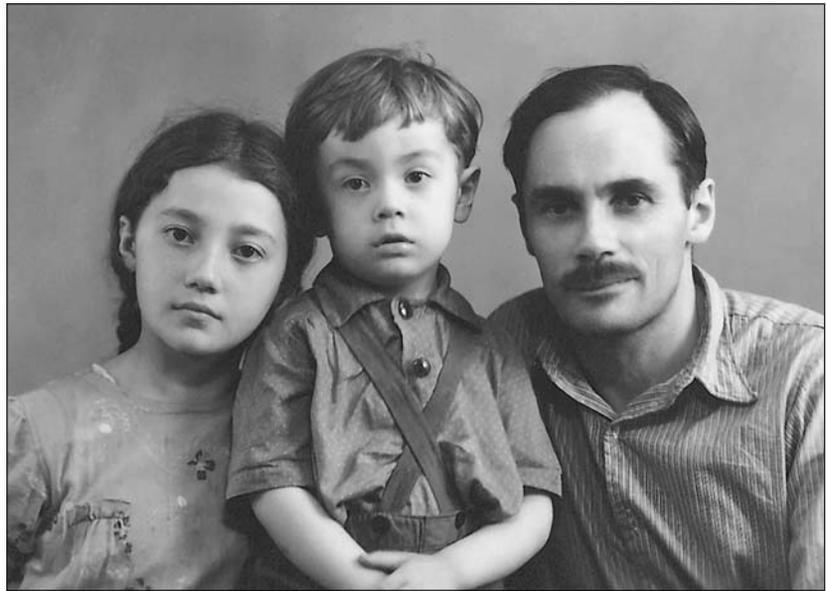
В 1947 г. Малиновский переводит на русский язык книгу известного физика Э.Шредингера «What Is Life? The Physical Aspects of a Living Cell» («Что такое жизнь? С точки зрения физика»), характеризуя ее в своем послесловии как одну из первых книг по *настоящей* биофизике\*. Это был по тем временам очень смелый шаг, который нанес удар прежде всего по лысеньковцам. Во-первых, выход в свет этой замечательной книги привлек внимание ряда выдающихся

\* В настоящее время книга, переведенная А.А.Малиновским, готовится к переизданию в издательстве «РИМИС».

ся отечественных физиков, обладавших гораздо более высоким авторитетом у власти, ценившей их потенциал в укреплении мощи страны, чем фантастические обещания лысенковцев и им подобных. Во-вторых, многие ученые-биологи, в том числе генетики, после разгрома генетики в 1948 г. получили возможность работать в научных учреждениях физического профиля. И, наконец, в третьих, эта книга ускорила переход к генетическим исследованиям на молекулярном уровне.

Т.Д.Лысенко в своем докладе на позорной сессии ВАСХНИЛ не только упомянул Малиновского как «вейсманиста» (что было вполне достаточно для организации последующей травли), но и отметил в его послесловии к книге Шредингера «явные признаки идеализма». В свете таких «разоблачений» продолжение научной деятельности было невозможным. После трех лет безнадежных поисков работы случилось чудо. Знаменитый офтальмолог Владимир Петрович Филатов, разбирая бумаги своего брата — выдающегося эмбриолога Д.П.Филатова (1876—1943), обнаружил в них высокую оценку одного из его учеников — некоего Александра Малиновского, который, как выяснилось, нигде не работает.

В.П.Филатов разыскал «безработного» и пригласил его в Одессу для переговоров. После короткой беседы директор НИИ глазных болезней и тканевой терапии МЗ УССР предложил молодому генетику возглавить научно-лабораторный сектор института и периодически выполнять обязанности заместителя директора. В квартире Филатова освободили небольшую комнату для нового сотрудника, а через два года ему выделили комнату в новом жилом доме. Начался новый, интересный и продуктивный период. В первые годы Александр Александрович ставил серьезные опыты по экспериментальной эпилепсии у крыс. Это позволило ему



С сыном Сашей и дочерью Наташей. 1948 г.

с использованием системно-кибернетического анализа построить гипотезу о механизмах припадков и их влиянии на основные процессы в центральной нервной системе.

В 1955 г. Малиновский начал разработку этиологии и патогенеза близорукости. Обнаружив у крупных офтальмологов (Ф.Берга, Е.Ж.Трона и др.) ряд ошибок в математических исследованиях, он предложил собственные математические методы и общеприкладные принципы исследований. Работы под руководством А.А.Малиновского и В.В.Скородиной (супруги В.П.Филатова) показали, что развитие близорукости связано с общим состоянием организма и с географической средой. Вместе со своими сотрудниками он поставил ряд модельных опытов на животных. В них выявилась четкая зависимость близорукости от наследственных факторов, а также выяснилось, что близорукость передается по наследству как признак, зависящий от нормы реакции. Можно сказать, что Малиновский инициировал создание, по существу, нового биологического направления в изучении миопии. За цикл этих работ Малиновский был

награжден значком «Отличник здравоохранения», которым он очень гордился.

Александр Александрович обучал научных сотрудников и врачей института математическим методам анализа; благодаря его настойчивости их стали применять почти в обязательном порядке для обработки и обобщения полученных результатов исследований. Широкая эрудиция в различных областях биологии позволила Мали-



После сессии ВАСХНИЛ. 1948 г.



С ближайшими сотрудниками.  
Слева — И.С.Збандут, справа —  
Л.П.Ивченко. Одесса. 1960 г.

Широта интересов Александра Александровича влекла его к выдающимся ученым разных областей науки. Он отнюдь не стеснялся учиться. Своими учителями он считал Н.К.Кольцова, И.И.Шмальгаузена, Д.П.Филатова, П.Б.Ганнушкина, С.Н.Давиденкова, В.П.Филатова и др. Но порой и его учителя могли поучиться у своего ученика. Так, великий эволюционист академик Шмальгаузен на склоне лет (74 года), будучи в опале, пришел к необходимости использования элементов системного анализа в биологии, т.е. к тому, в чем более всех преуспел кандидат биологических наук Малиновский. Вот что писал ему в Одессу Шмальгаузен.

новскому не только поддержать теоретические положения учения В.П.Филатова о биогенных стимуляторах, но и заняться экспериментальными исследованиями по влиянию тканевых препаратов на процессы возбуждения и торможения в центральной нервной системе.

В Одессе комплексный подход Малиновского особенно ярко проявился при изучении этиологии и патогенеза близорукости. Здесь использовались и идеи системного подхода, и математические методы, позволившие выявить ряд прямых корреляционных зависимостей усиления рефракции от общего состояния организма и от ряда генетических и географических факторов. Так, анализ географического распространения близорукости позволил установить зависимость его от характера почв и питьевой воды и выявить регионы большей опасности, а с учетом наследственной предрасположенности к развитию близорукости у детей и подростков — ввести понятие «групп риска» и систему необходимых профилактических мер [3].



За работой. Одесса. 1957 г.



Дружный коллектив Одесского института глазных болезней. Сидят: справа второй — В.П.Филатов, за ним во втором ряду В.В.Скородинская и слева А.А.Малиновский. Середина 60-х годов.

**15 августа 1958 г.**

*Дорогой Александр Александрович! Я сдал в печать целый ряд кибернетических статей (в связи с эволюционными проблемами), однако из печати вышла пока только маленькая статья в «Докладах АН СССР». Оттисков я пока еще не получил. Следующая статья должна быть в «Зоологическом журнале» №9, затем в «Бюллетенях МОИПр», потом в «Природе»; маленькая заметка будет в «Ботаническом журнале» (по поводу статей Фролова и Тахтаджяна) и, наконец, в «Проблемах кибернетики». Когда будут оттиски, я Вам обязательно пришлю. Очень прошу и Вас присылать мне оттиски Ваших работ. Очень перспективна разработка проблем индивидуального развития — надеюсь, что Вы за это возьметесь (мне это уже не по плечу, тем более что я занят плановой работой по происхождению наземных позвоночных). Сейчас я*

*занят еще кибернетической работой — информация, энтропия и естественный отбор. На этом, вероятно, кончу — на меня насаждает Е.Павловский с моей монографией по происхождению наземных позвоночных — я и так чрезмерно с нею задержался.*

*С сердечным приветом  
Ваш И.Шмальгаузен.*

Благоприятная атмосфера в Одесском институте позволила Александру Александровичу завершить ряд неоконченных ранее выдающихся работ, в том числе «Типы управляющих биологических систем и их приспособительное значение» (переведена на немецкий и английский языки). Администрация института не препятствовала и его командировкам в Ленинград для чтения там лекций и участия в семинарах по проблемам кибернетики (по просьбам ректора ЛГУ).

Через 17 лет после сессии ВАСХНИЛ 1948 г. борьба с анти-

научной «лысенковщиной», в которой Малиновский принимал активное участие, наконец увенчалась успехом. Важную роль в этом сыграло изменение политической ситуации в стране. В 1965 г. Александр Александрович был приглашен в Москву в качестве консультанта вице-президента АН СССР, лауреата Нобелевской премии Н.Н.Семёнова, по вопросу развития современной биологии. Спустя два года в газете появилась их совместная статья [4]. Так началась работа по восстановлению теоретической биологии и отечественной генетики. Одним из важнейших шагов в этом направлении стало создание и организация первого в стране расширенного курса генетики на медико-биологическом факультете 2-го Московского медицинского института. Этот курс подготовил и возглавил Малиновский, которому в 1967 г. была присвоена ученая степень доктора биологических наук (а в 1969 г. — звание профессора).

Аудитория Александра Александровича отнюдь не ограничивалась студентами, его научно-популярные работы выходили огромными тиражами и пользовались большим спросом. Книга «Строение и жизнь человеческого тела» вышла в 1946 г. тиражом 200 тыс. экз. и выдержала до 1958 г. 20 изданий. Брошюру «Биология человека» издательство «Знание» выпустило в 1973 г. тиражом 100 тыс. экз. То же издательство опубликовало в 1969 г. весьма содержательную работу «Пути теоретической биологии», которой Малиновский очень гордился, вспоминая хвалебный отзыв прочитавших ее великих физиков — лауреатов Нобелевской премии Н.Н.Семенова и П.Л.Капицы. Общее количество опубликованных работ Малиновского — более 160.

Часто, говоря о сильных сторонах Малиновского как ученого, акцентируют внимание на его теоретических достижениях. Последний период своей научной деятельности Александр Александрович посвятил развитию и углублению «Общей теории систем», прежде всего — в области биологии. Здесь системные принципы в биологии, механизмы наследственности и их отношения с процессами онтогенеза, оптимальные сочетания корпускулярных и жестких систем, уровневое-иерархический тип организации биологических систем, системный анализ этиологии и патогенеза заболеваний, роль наследственности, социальных данных и предпосылок преступности... Многие выдвинутые Малиновским принципы теории систем применимы в самых разных областях.

## Литература

1. Проблемы кибернетики. Вып.32. М., 1977. С.203—223.
2. Колмогоров А.Н. Уклонение от формул Харди при частичной изоляции. М., 1935.
3. Малиновский А.А. Тектология. Теория систем. Теоретическая биология. М., 2000. С.25—27.
4. Семенов Н.Н., Малиновский А.А. Маршруты биологии // Известия. 1967. №19.
5. Zeleny M. On System Writings of A.A.Malinovskii // International Journal of General Systems. 1989. V.15. P.265—271.

Если попытаться сформулировать суть и особенности мышления Александра Александровича, то, какой бы области это ни касалось, это прежде всего — системный подход и умение смотреть на явление с разных точек зрения. Ему удавалось совмещать «логический» подход с элементами искусства и научной фантазии при анализе нераскрытых пока явлений прошлого. Познание живого вряд ли может быть успешным, если ограничивается только логикой.

Объединение, казалось бы, столь противоположных подходов и углов зрения на деле позволяет воспринять объект познания в единстве, как целое, и в динамике, как изменяющееся (т.е. как целостность и жизнь объекта). Недаром Малиновский дружил не только с учеными, но и с писателями, в том числе — с фантастами. Теплые дружеские отношения связывали его с И.А.Ефремовым, напутствовавшим его афоризмом англо-американского математика и философа А.Н.Уайтхеда: «Ищи простоту, но не доверяй ей». Многие годы Александр Александрович дружил с историком и писателем Л.Н.Гумилевым, с автором романа «Белые одежды» — В.Д.Дудинцевым. Интересно, что друг детства Малиновского, писатель А.А.Крейн (литературный псевдоним Крон), вывел в своем романе «Бессоница» человека с фамилией Юдин, очень похожего на Александра Александровича.

Заканчивая рассказ о Малиновском, хочется вновь вспомнить о его отце, оказавшем огромное влияние на жизнь сына, его человеческие качества и научную судьбу. Отец для Александра Александровича всегда ос-

тавался главным героем как образец человека, мыслителя и борца. С годами Малиновский все выше ценил доброту, считая ее тем качеством отца, без которого он не мог бы создать столь обобщающие научные теории. Основной целью своей жизни Малиновский считал развитие и реализацию идей Богданова и восстановление его доброго имени. Он сделал для этого очень многое, добившись переиздания его основных работ, начиная с «Тектологии». Развивая идеи Богданова, Малиновский стал одним из ведущих создателей «Общей теории систем» [5]. Известный специалист по системным исследованиям М.Зелены дал чрезвычайно высокую оценку работам Малиновского по развитию и синтезу идей «Общей теории систем» и «Тектологии» [5].

В 1990 г. Малиновский вместе с другими генетиками был награжден орденом Ленина «за особый вклад в сохранение и развитие генетики и селекции, подготовку высококвалифицированных научных кадров».

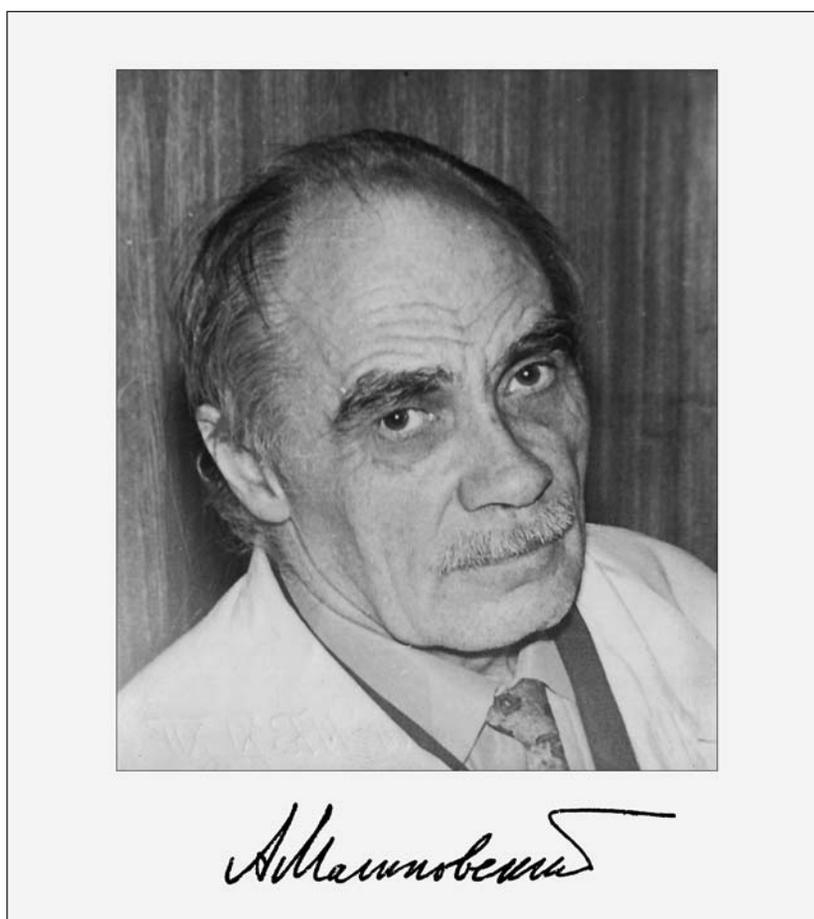
Каким человеком был Александр Александрович Малиновский, лучше всего сказали те, кто с ним работал: «Он был наделен... талантом дружбы, преданно любил друзей, которых вокруг него было очень много!.. Все, кто узнавали его ближе, попадали под обаяние ума и доброты. Для него не было “высших и низших”»: ровно относился он и к директору института, и к больной санитарке, приходившей к нему за советами». Глубокий след оставил он в людях, знавших его. «Он был учителем добра, чистоты. Многими дружба с ним ощущается до сих пор как милость судьбы, как подарок» [3].■

# Научный наставник

Н.Н.Богданов,  
кандидат медицинских наук  
Московский институт открытого образования

Судьба Малиновского ярка и даже по меркам бурного XX в. во многом необычна. Он родился в Париже в семье знаменитого философа, экономиста, врача, писателя и общественного деятеля Александра Александровича Малиновского (Богданова). Как известно, одно время, а именно на рубеже XIX—XX вв., А.А.Малиновский-старший относился к числу ближайших сподвижников В.И.Ульянова-Ленина. Ныне с этого политического деятеля — «основателя коммунистической партии и советского государства» — уже снят ореол спасителя человечества. Не будем вдаваться в рассуждения, насколько это справедливо. Важнее другое — при любом взгляде на прошлое нашей многострадальной страны у русских эмигрантских кругов тех лет не отнять преобразовательской энергии и энтузиазма, неколебимой веры в прогресс, в созидательные силы человечества. И если осуществленные под их руководством революционные перевороты роковым образом сказались на развитии русской гуманитарной мысли, фактически положив конец культурной эпохе Серебряного века, то столь же определенно можно полагать, что именно они пробудили мощную струю жизненных сил в сфере естественных наук, промышленности и техники.

Так и знаменитый Институт экспериментальной биологии, в котором началась трудовая деятельность Малиновского, был основан Кольцовым сразу же



Фотография с автографом, подаренная автору статьи. 1973 г.

после падения царизма, благодаря личным связям знаменитого ученого в кругах Временного правительства. В определенной мере это позволяет считать Институт экспериментальной биологии детищем Февральской революции. Думается, та кипучая атмосфера разнообразнейших, в том числе фантастических, подчас — откровенно сумасбродных и волюнтаристских

(но, тем не менее, оригинальных, увлекательных, нередко прямо-таки захватывающих) идей и планов, что окружала Александра Александровича с самого детства, в немалой степени определила и его собственный творческий потенциал, круг его интересов и научное долголетие.

Можно представить, сколь экзотической казалась фигура

Малиновского, уже пережившего множество бед и потерь, когда в 1965 г. на волне возрождающейся после всех гонений генетики он вернулся из Одессы в Москву и продолжил свою научную деятельность в стенах 2-го Московского медицинского института. Именно здесь тогда началось преподавание самого полного во всех медицинских вузах страны курса общей и медицинской генетики. Но, конечно же, деятельность Малиновского была куда шире — он сотрудничал в нескольких исследовательских центрах, принимал участие в несчетном числе научных семинаров и конференций, поддерживая молодых коллег в их интересных, на его взгляд, начинаниях.

Автор этих строк помнит, какими глазами смотрели на Малиновского студенты в институтской аудитории. Ну как же — сын раскритикованного Лениным махиста, «доморощенный морганист», отмеченный в громном докладе Лысенко на печально известной сессии ВАСХНИЛ июля—августа 1948 г. Наконец, исследователь, переживший сожжение собственных трудов!\* Помнятся также и рассказы Александра Александровича о временах куда более отдаленных. Как, например, еще в период парижской жизни ушедший в театр отец оставил маленького Сашу на попечение безотказного в таких вопросах... Ф.Э.Держинского. И попросил не только присмотреть за ребенком, но даже и выкупать его! Или рассказ о крещении в возрасте пяти лет: когда после начала Первой мировой войны русские эмигранты рванулись на родину, то для родившегося за ее пределами ребенка потребовалось метрическое свидетельство. А единственной под-

\* В 1948 г. тираж трудов Института цитологии, гистологии и эмбриологии АН СССР, в который вошли большая работа Малиновского по типам конституций и работы И.А.Рапопорта по химическому мутагенезу, был почти полностью уничтожен.

ходящей кандидатурой для крестного отца оказался... будущий нарком просвещения А.В.Луначарский.

Известно, что со студенческих лет Александра Александровича влекла математика. Можно сказать, что ею пропитаны все или почти все работы ученого, самый стиль его мышления. Неудивительно, что первая научная публикация Малиновского была посвящена математическому анализу генетических путей эволюции. Думается, именно отсюда вырос интерес исследователя к конституциональным типам человека и других животных, увенчавшийся защитой в 1935 г. диссертационного исследования «корреляции элементарных признаков у человека». Надо сказать, что эти работы Малиновского, сформулировавшего представления о двух путях канализации морфогенеза — астенопикническом и атлетограцильном, не только дополняли замечательные, но чисто эмпирические наблюдения Э.Кречмера о человеческих типах, но, главное, подвели под них биологический базис. Интересно, что чуть позже, в начале 1940-х годов, очевидно, совершенно независимо к сходным выводам пришел и замечательный немецкий педиатр и невролог К.Конрад\*\*. Таким образом, высокая оценка труда Конрада, данная в свое время К.Ясперсом («теперь учение о конституциональных типах вступило в новую фазу своего развития»), в полной мере приложима и к трудам Малиновского.

Помимо этого, Александр Александрович провел математические расчеты хода отбора при больших хромосомных инверсиях, оценил процессы дрейфа генов, установил оптимум частичной изоляции для отбора рецессивных генов в популяции. К серии его математических, или, шире, системных, работ следует отнести и выявление

\*\* Conrad K. Der Konstitutionstypus als genetisches Problem. Berlin, 1941.

приспособительной роли положительных обратных связей. Здесь он видел себя наследником и продолжателем дела своего отца, по праву считающегося основоположником современной теории систем. Увы, монография Малиновского о типах биологических систем так и не увидела свет. Правда, ее основные положения и выводы вышли в виде обширной статьи в журнале «Проблемы кибернетики» (1960. №4). В том же журнале опубликована и его работа «О роли обратных связей и системных изменений в развитии аутистического мышления у шизоидов и шизофреников» (1977. №32). Написанная с позиций широкого культурологического подхода, содержащая обширные цитаты из произведений народного эпоса, анализ идей классиков мировой психиатрии и социологии и даже любопытный мемуарный эпизод из клинической деятельности П.Б.Ганнушкина, эта работа весьма типична для Александра Александровича. Надо отметить, что уже в 1960—1970-х годах Малиновский много высказывался о важной роли психотерапии в реабилитации психотиков.

Разумеется, математика имеет огромное значение для других наук и, конечно же, для биологии. Однако до конца своей научной деятельности Александр Александрович повторял: доверять результатам математических расчетов, в частности пресловутым корреляциям, можно лишь тогда, когда хоть сколько-нибудь понятен их биологический смысл! Сколько же научного хлама не произвели бы на свет современные деятели от науки, прислушайся они к завету старого ученого!

Вместе с тем Малиновского можно причислить и к пионерам отечественной генетики психических заболеваний. Интерес к этой области он не терял всю свою жизнь. В связи со сказанным вспоминается тема исследования, предложенная Александром Александровичем

одному из аспирантов уже в середине 1970-х годов, — доказать математическими расчетами, что шизофрения в Европе определяется наличием лишь одного специфического гена (или локуса). Ведь семейные проявления этого заболевания часто представлены совершенно различными клиническими формами. Что и говорить, идея отнюдь не бесспорная, но все же несущая в себе важное рациональное зерно. Здесь вспоминаются и размышления Малиновского о генетике агрессивности, преступности и даже талантливости. Так, он полагал, что понять принципы наследования агрессивности невозможно, если не принимать во внимание общую возбудимость нервной системы. А широко известный факт, что потомство гения обычно сильно уступает ему в своих достижениях, Малиновский объяснял тем, что гениальный отец чаще всего... подавляет своего *не менее* гениального сына.

Работы по гомопластической пересадке зубов (вместе со своим другом А.Г.Лапчинским, которого Александр Александрович считал одним из самых выдающихся отечественных хирургов) невольно заставляют вспомнить доктора Фауста с его знаменитой риторикой. Ведь речь здесь шла не о банальном протезировании, а именно о приживлении зачатка, из которого со временем разовьется здоровый, полноценный орган. Опыты на крысах, кошках и собаках по пересадке зародышевых зубов дали положительный результат, однако эксперимент, где подопытным был сам Малиновский, оказался неудачным. Как жаль, что показавшие свою успешность в опытах на собаках, кошках и крысах, эти пересадки так и не получили достойного воплощения в человеческой практике. Скольким людям вернули бы они здоровье, продлили бы жизнь!

Что и говорить, круг научных интересов Малиновского был весьма обширен. Помимо отме-

ченного выше, ученого интересовали вопросы долголетия, методы диагностики, профилактики и коррекции близорукости, он ставил опыты по экспериментальной эпилепсии у животных, изучал влияние тканевых пересадок на процессы возбуждения и торможения в нервной системе у животных и многое другое. Возьму на себя смелость сказать, что в огромной области медицины и биологии едва ли сыщется тема, которая когда-нибудь, хотя бы на короткое время, не привлекла внимания Александра Александровича. Именно благодаря этому он мог высказать оригинальное мнение по многочисленным, подчас совершенно экзотическим вопросам. Что уж греха таить, по молодости лет и недостаточному жизненному опыту автор этих строк иногда тиранил своего старшего друга и наставника прямо-таки провокационными вопросами. Помню, как-то во время обсуждения каллиграфического письма, свойственного большей части эпилептиков, благодаря чему иногда сразу же, по одному только почерку, можно заподозрить диагноз (как, скажем, у Петrarки или Достоевского), я спросил его, что он вообще думает о графологии.

Александр Александрович ответил: «По подписи можно определить — эгоист человек или нет. Если в конце ее имеется идущая влево, к началу подписи, закрючка, значит — эгоист! Ведь эгоисты всегда все тянут к себе. Вспомните хотя бы восточную притчу о богатом купце, который чуть было не утонул в арыке. Дело в том, что все желающие ему помочь кричали только: «Дай руку! Дай руку!» — а он никак не мог на это решиться. Наконец один мудрец крикнул: «Возьми мою руку!!!» — и купец был спасен».

В другой раз, после обсуждения работ Я.Я.Рогинского о формах черепов у человека, я пристал к Александру Александровичу ни больше ни меньше как... с физиономистикой.

— Ну, по этому поводу я ничего не могу сказать, — произнес мой старший друг. Надо сказать, к величайшему моему разочарованию.

Мы стали говорить о чем-то другом, и вдруг, по прошествии нескольких часов (меньше мы никогда и не беседовали; к стыду своему, мне и в голову тогда не приходило, что, может быть, мой собеседник хочет или уже *должен* заняться чем-нибудь другим), Александр Александрович воскликнул (уж и не помню, по какому поводу):

— Да, конечно же, Осип Мандельштам был чрезвычайно наивным человеком — вспомните, какой у него был курносый нос!

Да простит меня мой старший друг и учитель, он всегда напоминал мне героев детективных рассказов Эдгара По (Дюпена и Вильяма Леграна из знаменитого рассказа «Золотой жук»), при всей увлекательности многие его объяснения казались мне далекими от действительности или даже наивными. Однако я готов был слушать их бесконечно, не раз внутренне восклицая: «Если это и неправда, то хорошо придумано!» Теперь, по прошествии трех десятков лет, я понимаю, что именно благодаря этому качеству, Александр Александрович был потрясающим научным наставником. Не преподавателем, не лектором, не педагогом (в отношении его все это чужие, холодные слова), а именно — наставником! Ведь рассказываемые им истории обладали несколькими замечательными качествами: во-первых, они были необыкновенно понятны, т.е. *доступны* моим еще неокрепшим в научном поиске мозгам, во-вторых, — они были в той же мере увлекательны и, наконец, в-третьих, своей простотой и кажущейся незавершенностью стимулировали мою творческую мысль! Теперь, оглядываясь на свой научный путь, я понимаю, что если и есть в нем что-либо, действительно ценное для биологии,

то всем этим, без сомнения, я обязан именно влиянию личности Малиновского. Ведь Александр Александрович был живым воплощением ученого и до конца своих дней пронес веру в гуманистические и созидательные силы человечества. Веру, видимо, почерпнутую им еще в самом раннем детстве!

Закончить свои заметки о Малиновском мне хотелось бы еще одним оригинальным его рассуждением: о крупном поэте современники могут отзываться как о дурном человеке, о крупном ученом — никогда! Поэт — всегда одиночка, которому нет дела до окружающих его людей. Важны лишь его эмоции. Как это

у Пушкина? «Ты царь — живи один!» Подлинный ученый не может существовать без научной среды и в этом смысле обречен на общение с коллегами по научной деятельности. Одно лишь сотрудничество с ними защищает его от грубейших и глупейших ошибок на тернистом пути науки! ■

### Работы А.А.Малиновского, опубликованные в «Природе»

1. Социальные и биологические факторы в происхождении расовых различий у человека. 1947. №7. С.40—48.
2. Некоторые возражения В.Ильенкову и А.И.Мещерякову. 1970. №1. С.92—95.
3. Незавершенные идеи некоторых советских генетиков. 1970. №2. С.79—83.
4. Преступность и генетика (ответ на письмо в редакцию журнала «Природа»). 1970. №7. С.125—127.
5. Одна из новых книг по экологии человека. 1972. №6. С.98—99.
6. Размышление о судьбе науки. 1972. №9. С.121—122.
7. Изучение эволюции на ЭВМ. 1973. №7. С.110—111.
8. Предпосылки новой теории. 1974. №6. С.108—109.
9. У истоков гелиобиологии. 1974. №7. С.120—122.
10. Математические и системные методы в биологии будущего. 1975. №6. С.83—86.
11. Идеи С.Н.Давиденкова в свете современной биологии. 1975. №8. С.83—84.
12. Физиология и одаренность. 1976. №9. С.73—77.
13. Влияние наследственности и среды на организм. 1979. №4. С.122—123.
14. Первопроходцы отечественной генетики. 1980. №11. С.122—124.
15. Системная логика дарвинизма. 1983. №10. С.46—54.
16. К изданию трудов основоположников эволюционной генетики. 1984. №1. С.120—121.
17. Старость с точки зрения эволюциониста. 1986. №8. С.81—89.
18. Общая теория систем в биологии и медицине. 1987. №7. С.5—15.

# Новости науки

## Астрономия

### Открытие планеты астрометрическим методом

И по сей день основным оружием «охотников за планетами» остается метод лучевых скоростей. Звезда вместе с планетой обращается вокруг общего центра масс, и проекция этого движения на луч зрения выражается в периодических колебаниях лучевой скорости звезды, которые надежно выявляются спектроскопическими методами. Но очевидно, что у движения звезды есть проекция не только на луч зрения, но и на картинную плоскость. Смещение звезды в тангенциальном направлении можно было бы выявить методами астрометрии, следя за изменениями ее небесных координат. Исторически, кстати, первым был опробован именно астрометрический метод, с помощью которого в 1960-е годы голландский астроном П. ван де Камп пытался обнаружить планетную систему у звезды Барнарда и некоторых других звезд. Однако потом этот метод оказался надолго забыт — слишком уж велики его требования к точности определения координат небесных светил.

Однако в последнее время интерес к нему начал возрождаться, главным образом в рамках подготовки программ космических астрометрических проектов. Правда, до сих пор в тех случаях, когда астрометрический метод удавалось успешно применить, он всегда шел вторым после какого-либо другого, помогая уточнить параметры уже известной планеты (или иного маломассивного спутника), но не открыть новую.

О первом успехе астрометрического метода как метода *обнаружения* планет сообщили С.Правдо и С.Шаклан (S.Pravdo, S.Shaklan; Лаборатория реактивного движения НАСА). На протяжении последних 12 лет они тщательно измеряли координаты 30 холодных тусклых звезд спектрального класса М, используя знаменитый 5-метровый телескоп обсерватории Маунт-Паломар (США). В одном случае им действительно удалось обнаружить признаки наличия у звезды спутника планетной массы.

Обладательницей планеты оказалась звезда VB 10 в созвездии Орла, которую авторы работы назвали «мечтой астрометриста в кошмарном обрамлении». Она близка к Солнцу (6 пк) и окружена многочисленными звездами-реперами с известными координатами, благодаря чему ее собственные координаты (а значит, и их колебания, вызванные тяготением планеты) можно определить с очень высокой точностью. С другой стороны, близость звезды проявляется в значительном собственном движении, в результате чего ее изображение иногда накладывается на другие звезды (за девять лет наблюдений такое случалось трижды). В сочетании с крайней тусклостью это снижает точность астрометрических измерений. Тем не менее Правдо и Шаклану удалось зафиксировать колебания звезды вокруг средней траектории с периодом около 0.74 года. Наилучшим образом эти колебания описываются в предположении, что у звезды имеется планета с массой около 6 масс Юпитера, при этом плоскость ее орбиты лишь на несколько градусов наклонена к лучу зрения. Поскольку масса самой звезды составляет примерно

70–80 масс Юпитера, разница между звездой и планетой очень незначительна. По размерам они, вероятно, и вовсе малоотличимы друг от друга — для объектов обоих типов теория внутреннего строения предсказывает радиусы порядка 0.1 солнечного. Большая полуось орбиты планеты равна около 0.36 а.е. Это означает, что она расположена существенно ближе к своей звезде, чем Юпитер к Солнцу, но это все-таки не «горячий юпитер», а обычный холодный газовый гигант.

Авторы работы считают, что им удалось доказать потенциал астрометрического метода, особенно для случаев, когда метод лучевых скоростей по тем или иным причинам пасует. Подобное может случиться, например, если речь идет об очень тусклой звезде, для которой невозможно получить качественные спектры. А ведь именно таких звезд в нашей Галактике подавляющее большинство.

<http://arxiv.org/abs/0906.0544>

## Астрономия

### Новые прямые снимки планет

Число известных внесолнечных планет перевалило уже за три сотни, однако и по сей день в подавляющем большинстве случаев астрономам приходится довольствоваться косвенными свидетельствами их существования — колебаниями лучевой скорости или периодическими ослаблениями яркости (затмениями) родительской звезды. Поэтому заветной, хотя и очень труднодостижимой целью остаются прямые изображения внесолнечных планет. В конце 2008 г. удача улыбнулась сразу двум группам наблюдателей,

воспользовавшимся телескопами VLT (Very Large Telescope) и «Hubble».

Французским астрономам, работавшим на телескопе VLT, удалось разглядеть объект, который расположен рядом со звездой  $\beta$  Живописца. Эта звезда находится близко от Земли (до нее всего около 70 св. лет) и довольно хорошо исследована. В 1984 г. стало известно, в частности, что вокруг нее имеется так называемый обломочный пылевой диск. По нынешним представлениям, подобные диски возникают в результате столкновений и дробления крупных планетезималей и потому могут служить характерным признаком завершающей стадии образования планетной системы. Логично было предположить, что у  $\beta$  Живописца при ее возрасте 12 млн лет есть не только планетезимали, но и уже «готовые» планеты. На присутствие крупных тел указывает и необычная форма диска: во-первых, он искривлен, а во-вторых, фактически состоит из двух дисков — основного и вторичного, расположенных под углом друг к другу. Такая конфигурация тоже говорит о наличии массивной планеты, находящейся на расстоянии от 5 до 10 а.е. от родительской звезды. Однако изучение внутренней области диска из-за близости к яркой звезде — очень сложная задача, которую несколько облегчает переход в инфракрасный диапазон, где контраст между звездой и предполагаемой планетой должен быть не столь сильным. Исследователи из Франции во главе с А.-М.Лагранж (Гренобльская обсерватория) получили снимки окрестностей  $\beta$  Живописца с помощью системы адаптивной оптики, установленной на телескопе VLT. Наблюдения были проведены еще в 2003 г., но их обработка завершилась лишь недавно, поскольку потребовала новых методов и алгоритмов. «Самое сложное — максимально точно распознать и исключить вклад рассеянного света звезды, — объясняет Лагранж. — Мы смогли сделать это после тщательного анализа

самых лучших снимков, полученных во время наблюдений»<sup>1</sup>.

Кропотливая работа увенчалась успехом: исследователи смогли различить вблизи звезды слабую светящуюся точку. Чтобы исключить ошибку, параметры этого объекта и сама его реальность были проверены тремя различными методами и всегда с одним и тем же результатом. Более того, позже компаньон удалось обнаружить и по данным других наблюдений. Итак, планета массой около восьми масс Юпитера находится на расстоянии около 8 а.е. от звезды  $\beta$  Живописца (примерно на расстоянии Сатурна от Солнца), т.е. внутри диска. Параметры предполагаемой планеты не противоречат и форме диска: создать наблюдаемые в нем искажения могло бы тело именно с такой массой и именно на таком расстоянии. Тем не менее авторы указывают на необходимость дополнительных наблюдений, которые позволят окончательно исключить вероятность того, что эта светящаяся точка — фоновый объект.

Группа американских исследователей из Калифорнийского университета в Беркли проводила наблюдения на космическом телескопе «Hubble» — для прямого фотографирования планет требуются самые мощные инструменты современности<sup>2</sup>. Особенность этого результата состоит в том, что П.Каласу и его коллегам удалось получить снимок планеты не в инфракрасном, а в видимом диапазоне. В данном случае объектом исследования стала система звезды Фомальгаут из созвездия Южной Рыбы, удаленная от нас на 25 св. лет. У нее тоже имеется обломочный диск необычной формы, скорее напоминающий кольцо диаметром около 230 а.е. с резким внутренним краем; кроме того, центр кольца не совпадает с положением звезды. Эти необычные свойства — внутренний проем с резким краем и эксцентricность — также указы-

вают на возможное наличие гигантской планеты.

И вот с помощью телескопа «Hubble» удалось действительно сфотографировать точечный источник света, лежащий примерно в 119 а.е. от звезды и в 18 а.е. от внутренней границы кольца. Повторные наблюдения, выполненные через 21 мес, показали, что источник движется в пространстве вместе с Фомальгаутом, иначе говоря, связь между источником и звездой здесь продемонстрирована более убедительно, чем для  $\beta$  Живописца. Правда, в случае Фомальгаута задачу исследователям существенно облегчает большое удаление планеты от звезды. Верхний предел на массу планеты накладывается внешним видом обломочного кольца Фомальгаута. Если бы масса планеты превышала три массы Юпитера, ее гравитация породила бы существенные искажения в структуре кольца, которые в реальности не наблюдаются. Более точно оценить массу планеты позволят последующие астрометрические наблюдения.

Интересно отметить отличия между двумя этими планетными системами. Если система  $\beta$  Живописца в каком-то смысле напоминает Солнечную (планета-гигант в ней находится примерно в той же зоне, что и в Солнечной системе), то в системе Фомальгаута орбита планеты проходит на расстоянии, на котором в Солнечной системе нет не только крупных планет, но и вообще нет значительной массы вещества. Это говорит о том, что сценарии формирования планетных систем весьма разнообразны, и чтобы проверить различные модели их образования и эволюции, необходимо прямое фотографирование внесолнечных планет. Пока подобные наблюдения ограничены гигантскими планетами вокруг молодых звезд, но с появлением нового поколения оптических телескопов они распространятся на более холодные и более старые планеты.

© Вибе Д.З.,

доктор физико-математических наук  
Москва

<sup>1</sup> Lagrange A.-M. // Science. 2008. V.322. P.1345.

<sup>2</sup> Kalas P. // Astronomy and Astrophysics. 2009. V.493. PL21.

## Астрономия

### Почему кометы грязные?

Кометы иногда описывают как комья грязного снега. Действительно, основную массу кометного вещества составляет водяной лед с примесью замерзших газов —  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , но они также содержат множество частиц космической пыли. Это и сажа (аморфный углерод), и силикаты — основной компонент протопланетных дисков, окружающих молодые горячие звезды. Однако непонятно, почему частицы силикатов в кометах кристаллические, а соединения кремния в межзвездных облаках — аморфные.

Для кристаллизации силикатов нужны достаточно высокие температуры, а кристаллы водяного, углекислотного и метанового льда могли образоваться лишь во внешних, холодных, частях протопланетных дисков. Значит, либо кометы формировались намного ближе к родительским звездам, либо, наоборот, силикаты, предварительно расплавленные и затем закристаллизовавшиеся, оказались каким-то образом выброшены во внешние части дисков неизвестной силой. Первый вариант представляется маловероятным, так как знакомые нам кометы образовались, как считается, на самых дальних окраинах Солнечной системы.

Проведенный анализ данных, полученных с космического инфракрасного телескопа «Spitzer» (НАСА), похоже, проливает свет на эту давнюю загадку. В 2008 г. международная группа астрономов наблюдала яркую вспышку молодой звезды EX Lupi, расположенной в созвездии Волк на расстоянии 500 св. лет от нас. Эта вспышка, временно увеличившая светимость звезды в 100 раз, повысила температуру ее окрестностей примерно до  $700^\circ\text{C}$  — вполне достаточно, чтобы вызвать кристаллизацию силикатов, образующих внутренние части протопланетного диска, и вытолкнуть их световым давлением на периферию.

Nature. 2009. V.459. P.224–226 (Великобритания).

## Организация науки

### Sic transit gloria mundi

В конце августа Лаборатория Белла («Bell Labs») официально заявила о прекращении исследований в области фундаментальной физики, физики полупроводников и интегральных схем.

Лаборатория была основана в 1925 г. и в скором времени стала Меккой для исследователей в области физики, математики и компьютерных технологий. Кризис начался в 1995 г., когда для развития производства ее присоединили в качестве исследовательского подразделения к фирме «Lucent Technologies», которую, в свою очередь, в 2006 г. трансформировали в объединенную компанию «Alcatel-Lucent». Оставив на длинной дороге фундаментальных физических исследований шесть Нобелевских премий, изобретение транзистора и лазера, неисчислимый вклад в компьютерные науки и технологии, Лаборатория Белла остановила свои исследования.

«Alcatel-Lucent» отошла от фундаментальной науки, физики материалов и полупроводниковых исследований, сфокусировав усилия на более востребованных рынком областях, таких как сетевые технологии, быстродействующая электроника, беспроводная связь, нанотехнологии и компьютерные программы. Сегодняшняя задача «Bell Labs» состоит в том, чтобы приблизить свои исследовательские задачи к производственным потребностям «Alcatel-Lucent».

Аналитики считают, что в компании возобладала близорукая точка зрения, лишаящая «Bell Labs» возможности приходить на «фундаментальном пути» к действительно инновационным прикладным открытиям. Лаборатория была одним из последних бастионов «чистой» науки в мире корпораций, где в последние десятилетия развивались в основном способные окупаться прикладные работы. Долгосрочные научные исследования переместились в университеты и лаборатории, финансируемые из бюджета.

А ведь многие достижения «чистой» физики используются в компьютерных и беспроводных технологиях, хотя эта связь не всегда отчетливо видна. Так, в Глобальной системе позиционирования (Global Positioning Systems) используют атомные часы, которые созданы благодаря открытию водородного мазера, что, в свою очередь, связано с чисто фундаментальными исследованиями оптической накачки. Другой пример: для совершенствования спутниковой связи необходимо изучать космическое излучение. И до сих пор Лаборатория Белла была как раз тем местом, где счастливым образом встречались физика и компьютерная технология.

<http://perst.issp.ras.ru>  
(2008. Т.15. Вып.19).

## Физика

### Как взвесить фотон

Общепринято, что масса фотона равна нулю, однако некоторые скептики считают это утверждение недоказанным и предлагают эксперименты по измерению массы фотона. Какие же эффекты могли бы проявиться в эксперименте в случае наличия у фотона конечной массы?

Если масса нулевая ( $m = 0$ ), поле магнитного диполя падает обратно пропорционально кубу расстояния  $r^3$ , а если масса конечна, оно спадает экспоненциально:  $\sim \exp(-r/\lambda)/r^3$ , где  $\lambda$  — комптоновская длина волны фотона. С практической точки зрения такая зависимость означает экранирование поля диполя, что должно сказаться на поведении замагниченной плазмы на пространственных масштабах порядка или больше  $\lambda$ . На это обратил внимание еще Шрёдингер, предложивший оценивать  $\lambda$  на основе измерений магнитного поля Земли. Однако тогда отклонения от «школьного» закона не было выявлено. Это означало, что  $\lambda > 10^4$  км.

В 1975 г. измерения плазмы в районе Юпитера, проведенные станцией «Пионер-10», дали величину  $\lambda > 10^7$  км. Российский физик Д.Д.Рютов, ныне работающий

в Национальной лаборатории Лоуренса в Ливерморе (штат Калифорния, США), написал строгие уравнения магнитной гидродинамики для конечной массы фотонов и повысил оценку еще на порядок. Эти результаты теперь признаются специалистами. В настоящее время можно считать, что масса фотона  $m < 10^{-49}$  г.

Что же дальше? Рютов предлагает провести измерения плазмы на окраинах Солнечной системы, потом — в межгалактическом пространстве и, наконец, — в масштабах всей Вселенной<sup>1</sup>.

<http://perst.issp.ras.ru>  
(2008. Т.15. Вып.19).

### Геофизика

#### «Адская» эра Земли была не так уж плоха для жизни

Геофизики О.Абрамов и С.Мойжис (S.Mojzsis, Университет штата Колорадо в Боулдере) вычислили, как распространяется тепло при падении крупных метеоритов, которые испаряются сами и расплавляют породы земной коры на месте падения. Согласно проведенному ими численному моделированию, при таких импактных событиях выделяется намного меньше тепла, чем считалось прежде. Даже во время последней мощной метеоритной бомбардировки, случившейся 4 млрд лет назад, сквозь разогретую кору могло просачиваться достаточное количество воды, чтобы довольно быстро ее охладить.

Основываясь на изучении современных микробов, обнаруженных глубоко в недрах Земли, исследователи предположили, что жизнь в ту пору процветала в горных породах вплоть до глубины 4 км, куда не могло проникнуть тепло от падения метеоритов. Этот период мощной метеоритной бомбардировки, наступивший после относительного затишья, геологи называют «гадеан», или «адская эра»: прежние вычисления показывали, что падение наиболее

<sup>1</sup> Rytov D.D. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2007. V.49. PB429—B438.

крупных импактных тел поперечником до нескольких сот километров могло испарить океаны и раскалить земную кору на глубину около километра до весьма высоких температур. Однако в последние годы изучение химических и изотопных следов, сохранившихся в крохотных кристаллах горных пород из самых древних пластов земной коры, показало, что условия на Земле в течение примерно 200 млн лет после образования Луны, т.е. перед описанной выше бомбардировкой, были сравнительно мягкими и, возможно, благоприятными для возникновения жизни. Тогдашние живые организмы вполне могли пережить последующие тяжелые времена. Более того, возможно, что самые ранние формы жизни возникли еще раньше, около 4.3 млрд лет назад, и это объясняет, почему первые предшественники современной жизни были ультратермофильными бактериями, а значит, могли обитать в горячих источниках, созданных падением метеоритов задолго до последней бомбардировки.

Nature 2009. V.459. №7245. P.335—336 (Великобритания).

### Зоология

#### Ящерица-«эфемер»

Деление растений на однолетние и многолетние вполне привычно. Но среди 28 300 видов позвоночных животных (земноводных, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих) науке до последнего времени не был известен ни один, чей жизненный цикл продолжался бы меньше года.

В 2003—2006 гг. группа американских и мадагаскарских исследователей во главе с К.Б.Карстенем (Университет штата Оклахома, США) изучала в пустынном районе на юго-западе Мадагаскара два вида карликовых хамелеонов рода *Furcifer*<sup>2</sup>. Наблюдения за одним из них — *F.labordii* — привели к неожиданному заключению: это животное — настоящий

<sup>2</sup> Karsten K.B. // Proc. of Nat. Acad. Sci. USA. 2008. V.105. №26. P.8980—8984.

«эфемер», т.е. отличается однолетним жизненным циклом.

Детеныши *F.labordii* синхронно вылупляются в ноябре из яиц, отложенных в предыдущий сезон. В это время взрослых особей в популяции нет вообще. Хамелеончики быстро растут и уже к двум месяцам достигают половой зрелости. В январе-феврале они начинают размножаться, а после завершения этого периода быстро стареют и погибают. В сухой сезон, который начинается на Мадагаскаре весной, *F.labordii* уже не встречаются — вся популяция в течение 8—9 мес сохраняется только в виде отложенных яиц! При этом максимальная продолжительность жизни особи укладывается у этого вида в пять месяцев, т.е. она в два раза короче, чем эмбриональный период в яйце. К тому же этот хамелеон не впадает в летнее оцепенение, характерное для других пустынных ящериц, а просто погибает.

Любопытно, что совместно с *F.labordii* обитает другой хамелеон из того же рода — *F.verrucosus*, но с вполне обычным для таких ящериц многолетним жизненным циклом.

Итак, *F.labordii* с его минимальной продолжительностью жизни и быстрой сменой поколений оказался уникальным объектом для генетических и микроэволюционных исследований — почти как дрозофила или лабораторная мышь.

Выявленный феномен объясняет, кстати, почему некоторые хамелеоны не живут в неволе: это не следствие неблагоприятных условий, а просто их естественная краткая жизнь.

© Семенов Д.В.,

кандидат биологических наук  
Москва

### Океанология

#### Пелагическая экосистема у побережья Западной Африки

В соответствии с межправительственными соглашениями России с Королевством Марокко и Исламской Республикой Маври-

тания о сотрудничестве в области морского рыболовства проводится комплекс гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и ихтиологических исследований в районе Центрально-Восточной Атлантики. Изучение среды обитания промысловых видов рыб (сардины, скумбрии, ставриды, сардинеллы) выполнялось на судне «Атлантида», принадлежащем Атлантическому научно-исследовательскому институту рыбного хозяйства и океанографии Федерального агентства по рыболовству РФ (АтлантНИРО, Калининград); в экспедициях участвовали также сотрудники ВНИИРО (Москва).

Режим и структуру вод у западного побережья Африки в основном определяет прибрежный Канарский апвеллинг. Чтобы эффективнее использовать промысловые биоресурсы, необходимо было выявить механизмы формирования биологической продуктивности и причины ее межгодовой изменчивости. В июле—августе 2007 г. работы велись между мысами Сафи и Кап-Блан (32°30′—21°00′) и от мыса Кап-Блан до 16°10′с.ш. По сравнению с аналогичным периодом 2006 г. температура прибрежных вод снизилась вследствие усиления пассатной циркуляции, увеличения интенсивности апвеллинга и расширения площади прибрежных апвеллинговых зон.

Наиболее ярко по температуре и солёности на поверхности прибрежный апвеллинг выражен севернее 24°с.ш., где наблюдался подъем глубинных вод из промежуточных и придонных слоев, отличающихся самыми низкими температурами (15.2—17.5°С) и низкой солёностью (36.10—36.25‰). Эти воды содержат минимальное количество кислорода (78%, 4.41 мл/л), но имеют повышенную концентрацию биогенных веществ (фосфатов до 2.03 мкг-ат/л, нитратов до 12.12, растворенного кремния до 8.1); для них характерно однородное вертикальное распределение исследуемых гидрологических и гидрохимических параметров.

Дополнительным источником растворенного кремния служит северо-восточный пассат, приносящий его с материка. Максимальные концентрации органических форм азота (33.18 и 41.52 мкг-ат/л) отмечены на 25° и 29°с.ш., а органического фосфора (1.69 мкг-ат/л) — на 25°с.ш. Здесь же находился очаг высокого содержания растворенного железа на поверхности (до 48.05 мкг/л). Совпадение зон повышенного содержания органического азота и фосфора с зонами интенсивного апвеллинга обусловлено, вероятно, не только биохимическими и гидробиологическими параметрами, но связано также со структурой и динамикой этой акватории.

Южнее 24°с.ш. поверхностная температура вод в прибрежной зоне более высокая (18.43—21.10°С) при солёности 36.28—36.44‰, что связано с притоком теплых и менее соленых вод Межпассатного противотечения. Повышенные концентрации биогенных веществ наблюдались здесь на локальном участке между 23° и 22°30′с.ш., а температура и солёность были выше, чем в зоне интенсивного апвеллинга, что объясняется, вероятно, наличием в этом районе вихревой структуры, характерной вообще для всех прибрежных апвеллингов. Наименьшее содержание кислорода отмечено к югу от мыса Кап-Блан (4.37 мл/л), а повышенные концентрации всех химических элементов (при максимальных значениях биогенных веществ) наблюдались в зоне действия Сенегало-Мавританского гидрологического фронта (21°00′—19°45′с.ш.). Южнее мыса Тимирис (19°20′с.ш.) прибрежный апвеллинг не прослеживался в поверхностном слое — температура воды повсеместно превышала 26°С из-за выноса с юго-запада более прогретых океанических вод.

В целом, заключают авторы исследования, изменчивость полей биогенных веществ отражает основные черты динамики вод и хорошо согласуется с распределением температуры, солёнос-

ти и кислорода на поверхности. Интенсивность прибрежного апвеллинга (для времени проведения экспедиции) оценена как умеренная.

Океанология. 2008. Т.48. №3. С.484—487 (Россия).

## Тектоника

### Тектонические нарушения в створе плотины Иркутской ГЭС

Инженерно-геологические изыскания, проведенные в створе плотины Иркутской ГЭС в конце 40-х — начале 50-х годов XX в., не выявили никаких тектонических нарушений. Более поздние геологические, геофизические и гидрогеологические исследования показали, что долина Ангары на участке от ее истока до г.Усолье-Сибирское и далее сопряжена с Ангарской разломной зоной, что нашло отражение на Карте разломов юга Восточной Сибири (1988). К настоящему времени изучена разрывная структура приповерхностной части этой разломной зоны, для чего проводился массовый замер трещиноватости докайнозойских и кайнозойских отложений в местах их естественных обнажений и на участках техногенного вскрытия. О новых исследованиях структуры разломной зоны сообщили Н.И.Демьянович, Б.М.Шенькман, И.Б.Шенькман (Институт земной коры СО РАН, Иркутск). Данные по створу Иркутской ГЭС были получены в ходе реконструкции и расширения пьезометрической сети, а также при изучении гидродинамического и гидрохимического режима фильтрационного потока (проводится через 50 лет эксплуатации гидросооружения).

Оказалось, что толща юрских пород, вскрытая на 50—70 м в береговых примыканиях и на 26—34 м — в русловой и островной частях плотины, подвергается разнообразным деформациям, которые говорят о сложной динамике разломной зоны. По кернам прослежены крутопадающие (60—

90°) трещины, часто с зеркалами скольжения<sup>1</sup>, послойные срывы, тоже иногда с зеркалами скольжения, микроступенчатые смещения, брекчирование и т.п. Следы деструкционных процессов обнаруживаются и на микроуровне (в шлифах). Разрывы имеют разный возраст, их хронологическая последовательность предопределена Байкальской и Саянской фазами тектогенеза.

Впервые для Ангарской разломной зоны были обнаружены прерывистые зеркала скольжения по притертым трещинам, которые иногда внешне никак не выражены и вскрываются лишь при подготовке образцов для испытания на прочность. Обычно они образуются при деформациях в условиях сжатия и характеризуют незавершенность процесса. Обнаружение подобных разрывов в правобережном примыкании плотины, где сколы залечены кальцитом, и в днище долины, где какие-либо налеты отсутствуют, свидетельствует о закономерном для разломной зоны механизме их образования в разные периоды существования разлома. В пределах вскрытой толщи юрских пород на правобережном примыкании плотины зафиксировано два уровня их проявления — на абсолютных отметках 392.3—397.29 и 403.5—408.18 м. Состав соскоба с зеркала нижнего уровня представлен каолинитом, а верхнего — порошкообразной смесью глинистых минералов, что свидетельствует о разном периоде их образования.

Наиболее четко кайнозойская фаза активизации разломной зоны прослеживается по топографии надпойменных террас и пойм. Первый этап активизации проявился после формирования IV надпойменной террасы в виде малоамплитудных перемещений в обоих береговых примыканиях плотины. Второй этап относится к концу верхнего плейстоцена и проявляется в смещении фрон-

<sup>1</sup> Зеркалами скольжения называют гладкую поверхность, пришлифованную трением пород при их перемещении вдоль этой поверхности.

тальной части III надпойменной террасы. Третий этап запечатлен в виде разрывных нарушений в днище долины. Тектоническая активизация сопровождается обновлением старых и появлением новых нарушений открытого и закрытого типа. Наибольший интерес представляют открытые тектонические разломы, по которым происходит энергичный перенос масс.

В пределах Ангарской разломной зоны отчетливо проявляется валообразная гидрогеохимическая структура, которая представлена водами смешанного химического состава, образовавшимися при межпластовом восходящем водообмене в общей области разгрузки. В верхней части гидрохимического купола находятся хлоридно-гидрокарбонатные слабосоленоватые воды, насыщенные метаном. В азональной гидрогеохимической структуре отмечаются узкие (10—20 м), вытянутые субпараллельно долине участки, соответствующие открытым разрывам, где происходит разгрузка хлоридных натриевых солоноватых сероводородных вод с высокой концентрацией водорастворимого гелия. Состав этих вод и нижнекембрийских рассолов, залегающих на глубине 700 м, одинаков.

В створе плотины имеются три открытых разрывных нарушения. Два из них расположены ближе к левобережному примыканию плотины, по обе стороны о.Путилиха, оконтуривая понижение в основании здания ГЭС, — здесь отмечается аномальная для пойм мощность аллювия и повышенная трещиноватость пород цоколя. Ныне эти разрывы представляют собой высокопроницаемые межблоковые пространства. При существующей скорости водообмена между верхним и нижним бьефами водохранилища напорный поток на всем протяжении сохраняет свойственную воде Ангары выщелачивающую агрессивность, что и сказалось на состоянии пород в основании здания ГЭС.

Третий открытый разрыв почти примыкает к сопряжению пой-

мы и уступа правобережной надпойменной террасы. Эта узкая высокая гидрогеохимическая структура «протыкает» зону содовых вод. В осевой части купола вода по составу хлоридная натриевая, содержание сероводорода 40—50 мг/л, концентрация гелия в 130 раз больше фонового значения. Фильтрационный поток в основании земляной плотины заметно снизил (3 г/л) ее минерализацию.

В створе нового ангарского моста, в 3 км ниже плотины, вдоль левого и правого берегов тоже обнаружены открытые разрывные нарушения. Они фиксируются на всех участках, где проводились детальные исследования, — в районах городов Ангарска, Усолья-Сибирского, Свирска и вплоть до Братского водохранилища. Поскольку в разломной зоне находятся значимые сооружения, оценка состояния пород в их основании представляется весьма важной.

Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Тезисы докладов Всероссийской конференции. Москва, 13—17 октября 2008 г. Т.1. С.220—222 (Россия).

## Климатология

### Сдвиг западных ветров

Западные ветры (весты) преобладают в поясе средних широт. Они дуют с запада на восток между зонами высокого давления в субтропиках и зонами низкого давления вблизи полюсов. За последние 50 лет, возможно из-за глобального потепления, они усилились и сдвинулись к полюсам. Нечто похожее, видимо, случилось 17 тыс. лет назад, в конце последней ледниковой эпохи: климат потеплел, и весты Южного полушария переместились в сторону Антарктиды. Однако по данным группы американских палеоклиматологов во главе с Р.Андерсоном (R.Anderson; Колумбийский университет, Нью-Йорк), этот сдвиг произошел еще до начала потепления и вызвал увеличение концентрации атмосферного CO<sub>2</sub>.

Поток CO<sub>2</sub> в атмосферу поступил из океанских глубин в окрестностях Антарктиды за счет апвеллинга. Важно, что весты Южного полушария усиливают океаническую циркуляцию. До сих пор преобладало мнение, что сдвиг западных ветров к Антарктиде 17 тыс. лет назад — результат положительной обратной связи: небольшое увеличение содержания CO<sub>2</sub> или небольшое потепление инициировало сдвиг западных ветров к югу; этот сдвиг вызвал еще большее поступление CO<sub>2</sub> в атмосферу и дальнейшее потепление и т.д. Однако работа Андерсона указывает, что весты сместились не в ответ на рост содержания CO<sub>2</sub>, а, напротив, этот сдвиг произошел на ранних этапах изменения климата и, похоже, послужил основной причиной роста содержания CO<sub>2</sub>, предшествовавшего этому изменению.

Самые сильные западные ветры в Южном полушарии встречаются на несколько сот километров севернее широкого океанского коридора, окружающего Антарктиду. Западные ветры порождают в этом коридоре Антарктическое циркумполярное течение (АЦТ). Эти же ветры заставляют глубинные воды, расположенные к северу от АЦТ, подниматься к поверхности у побережий Антарктиды. За последние 50 лет весты сместились к югу, так что теперь максимальная их сила совпадает по широте с АЦТ, и они поднимают к поверхности большие объемы вод, чем прежде. На пике последнего оледенения преобладала противоположная ситуация: весты были смещены на север так далеко, что не взаимодействовали с АЦТ и не могли вызвать подъем значительных объемов вод со средних глубин, где они обогащены углекислым газом и кремнием — биогенным элементом, усиливающим биологическую продуктивность в поверхностном слое Южного океана.

Андерсон с сотрудниками показали, что накопление кремневых осадков вблизи Антарктиды резко ускорилось во время перехода от последнего ледникового

периода к более теплomu современному климату, и связывают это именно со сдвигом к полюсу западных ветров, усилившим апвеллинг вод, богатых CO<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub>.

Изучение колонок льда из Антарктического ледового щита показало, что содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере возросло в два этапа одновременно с ростом температуры воздуха в этом регионе. Параллельно с ростом CO<sub>2</sub> и температуры воздуха росла, тоже в два этапа, скорость накопления SiO<sub>2</sub> в донных осадках.

Обнаруженные Андерсоном два периода ускоренного накопления SiO<sub>2</sub> совпадают по времени с ускоренным ростом количества CO<sub>2</sub> в атмосфере, откуда следует, что западные ветры сместились в самом начале прироста CO<sub>2</sub>. Если бы сдвиг произошел в ответ на повышение концентрации CO<sub>2</sub>, следовало бы ожидать усиления апвеллинга и еще большего ускорения в накоплении SiO<sub>2</sub> после второго периода повышения концентрации CO<sub>2</sub>, когда уровень этого парникового газа был максимальным, однако как раз в это время скорость накопления SiO<sub>2</sub> в донных осадках вновь снизилась до прежних значений.

Что же могло вызвать сдвиг западных ветров именно тогда, когда он произошел? Ответ на этот вопрос представляется очевидным эмпирически, хотя трудно объяснить теоретически. Северное полушарие систематически теплее Южного, особенно вблизи Северной Атлантики, где циркуляция Мирового океана переносит тепло через экватор с юга на север. В результате термальный экватор Земли — внутритропическая зона конвергенции (ВТЗК) — расположен к северу от географического. Восточные ветры (пассаты), окаймляющие ВТЗК с севера и юга, также смещены к северу.

Два обнаруженных пика накопления донных осадков с повышенным содержанием SiO<sub>2</sub> совпадают по времени с непродолжительными, но резкими похолоданиями в Северном полушарии: так называемым событием Хайнриха 1 и поздним дриасом. Тогда таяние

айсбергов и ледников привело к выбросу в Северную Атлантику больших объемов пресной воды, что ослабило глобальную циркуляцию океана. Это охладило Северное полушарие и нагрело Южное, уменьшив их температурную асимметрию. Колонки донных осадков из южной части Карибского моря показывают, что пассаты сдвинулись к югу во время этих событий. Таким образом, ВТЗК переместилась к экватору; по-видимому, и западные ветры Южного полушария тоже сдвинулись ближе к Антарктиде вследствие сдвига пассатов на юг.

Климатологи считают, что смещения западных ветров за последние 50 лет вызваны потеплением, связанным с ростом в атмосфере содержания CO<sub>2</sub>. Однако такие смещения в ответ на рост CO<sub>2</sub>, предсказанные климатическими моделями, весьма малы и симметричны относительно экватора. Описанные же Андерсоном сдвиги были весьма асимметричны: в Южном полушарии гораздо сильнее, чем в Северном. Эти результаты указывают, что в прошлом западные ветры асимметрично сдвинулись на юг в ответ на уменьшение температурного контраста между полушариями. Величина этого сдвига, похоже, была очень значительной. Если в то время и возник некий отклик на рост содержания CO<sub>2</sub>, то очень небольшой. Современные изменения температурного контраста между полушариями вряд ли окажутся сопоставимы с теми, какие сопровождали конец последнего оледенения, но они могут стать дополнительным источником изменчивости климата.

Science. 2009. V.323. №5920. P.1434–1435 (США).

## Археология

### Спасательная археология Москвы

О том, какие археологические открытия сделаны на территории Москвы благодаря обязательным охранным раскопкам, рассказал на Всероссийском съезде архео-

логов в Суздале А.Г.Векслер, руководитель Центра археологических исследований, заместитель председателя Комитета по культурному наследию г. Москвы.

Археологические изыскания в Москве ведутся уже около 200 лет. В XIX в. и до 30-х годов XX в. многие известные отечественные археологи исследовали подмосковные городища и курганные группы, ныне вошедшие в границы города. В 1909 г. при Московском археологическом обществе была создана Комиссия по изучению старой Москвы (в послереволюционный период ее возглавил художник А.М.Васнецов, использовавший материалы археологических наблюдений для отображения облика средневековой Москвы). В 1920-х годах археологические наблюдения велись в связи со сносом памятников архитектуры и новым городским строительством, а в 1934 г. начало очередным планомерным исследованиям положило сооружение первой линии метро. В послевоенный период крупномасштабные раскопки предшествовали строительству высотного здания в Котельниках, Дворца съездов — в Кремле, гостиницы «Россия» — в Зарядье. В 70—80-х годах Музей истории и реконструкции Москвы провел охранные исследования в связи с сооружением Калужско-Рижского радиуса метро, а также раскопки Печатного двора на Никольской улице, усадьбы боярина Н.Р.Захарьина-Юрьева, сооружения Осадного двора, некрополя при церкви Знамения на Варварке.

Новый виток реконструкции исторического центра столицы потребовал возрождения Московской археологической экспедиции Института археологии РАН. Особую значимость имели проводившиеся тогда раскопки Казанского собора и Пушечного раската на Красной площади, в Богоявленском и Даниловом монастырях, в Историческом проезде, на Монетном дворе, Биржевой площади Китай-города. В конце 80-х — начале 90-х годов проблема сохранения археологического наследия встала с особой остро-

той, и тогда в системе органов охраны памятников Москвы было создано муниципальное подразделение Археологической службы — любые земляные работы без предварительного согласования с ним запрещались.

К числу наиболее значимых объектов, работы на которых организовал Центр археологических исследований под руководством А.Г.Векслера, следует отнести: крупномасштабные раскопки на территории Старого Гостиного двора, в зоне реконструкции гостиницы «Россия», вдоль улиц Ильинки и Никольской, Черкасского пер.; исследовались фундаменты и некрополь церкви Троицы в Старых Полях в Третьяковском проезде; ныне ведутся работы в Теплых Торговых рядах в Богоявленском проезде. Беспрецедентные по масштабам работы проведены на Манежной площади, в зоне дома Пашкова, на ул.Волхонке (древнее Чертолье), на Большой Дмитровке, Остоженке, Театральной площади, в Романовом пер. и в Зачатьевском монастыре. На Хохловской площади раскрыты белокаменные кладки укреплений Белого города. В Земляном городе в Замоскворечье раскопками охвачены районы Большой Ордынки, Полянки, переулка Казачьего, Щетининского, Толмачевского, Кадашевских, Татарского, Овчинниковского. Завершены раскопки, связанные с развитием территории Третьяковской галереи. На Сухаревской пл. усилиями археологов сохранены основания Сухаревой башни — уникального памятника архитектуры XVII в.

Значительные по масштабам архитектурно-археологические исследования проведены за пределами исторического центра Москвы: это комплекс загородного дворца царя Алексея Михайловича на территории музея-заповедника «Коломенское», первый регулярный парк России в Лефортово, дворцовый комплекс «Царицыно», усадьба Воронцово в Кузьминках; Мякининское селище в пойме правобережья Москвы-реки.

Предварительные археологические исследования стали теперь

столь же необходимы, как и сопровождающие строительство геологические и геодезические работы. Законодательно закреплена ныне статус охранных зон в районе Камер-Коллежского вала, внутри городской черты XVIII в. и 140 территорий в пределах административной границы города.

Археологами собраны уникальные данные о стратиграфии многометровых культурных напластований, об этапах планировки и застройки древнейших улиц. В подземном пространстве Манежной площади, под Старым Гостиным двором, Теплыми Торговыми рядами обнаружены ярусы средневековой усадебной застройки, деревянных мостовых. В Белом городе открыты палаты знатных московских родов — Милославских, Скуратовых, Волынских и др. В Зарядье, Чертополе, вдоль Бульварного и Садового кольца исследованы фундаменты городских оборонительных сооружений. Много нового стало известно о производственно-хозяйственной деятельности средневековых гончаров, ткачей, кузнецов, оружейников. В результате охранных раскопок найден самый крупный из когда-либо обнаруженных в Москве кладов — денежно-вещевой клад XVII в. в Старом Гостином дворе. В подземном музее на Манежной площади представлен раскрытый в ходе раскопок Воскресенский мост. Первым в Москве археологическим музеем «под открытым небом» стали белокаменные фундаменты церкви Троицы в Старых Полях в Третьяковском проезде. На территории «Коломенского» музеефицированы фундаменты Кормового двора, в «Царицыно» — сооружения Баженовских ансамблей. В районе Митино впервые в столице создается археологический ландшафтный парк... Благодаря охранным раскопкам, охватившим практически всю территорию современной Москвы, удалось получить уникальные материалы для создания археологической карты города.

Труды II (XVIII) Всероссийского археологического съезда в Суздале. 2008. Т.1. С.103—108 (Россия).

# Книга в книге о великом микробиологе

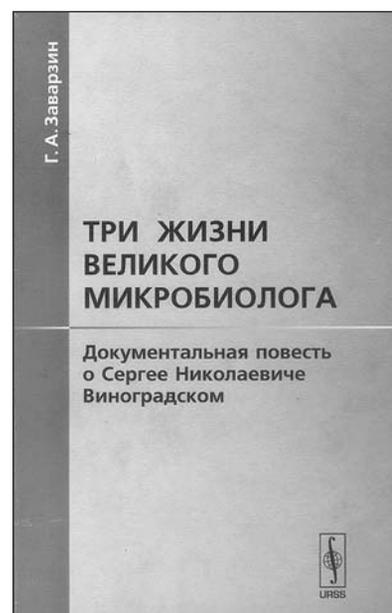
А.М.Гиляров,  
доктор биологических наук  
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Понимание того, как устроена природа, достигается трудом ученых. Об этом вроде бы все знают, но мало кто задумывается. Картина мира, рисуемая вузовскими учебниками, обычно предстает как некая изначальная данность. Осознания того, что 100 лет назад картина эта была существенно иной, после прочтения таких книг не наступает. Несколько портретов ученых во вводных разделах — не более, чем дань традиции, особенного историзма не приносящая. Широкой публике известны имена только немногих великих. Однако наряду с ними есть и не погавшие почему-то в обиход самых известных, но сделавшие открытия, которые давно преподносятся в учебниках как нечто само собой разумеющееся. К числу таких «недооцененных гениев» можно отнести и нашего выдающегося соотечественника, одного из основателей современной микробиологии, Сергея Николаевича Виноградского (1856—1953).

С именем этого микробиолога связывают прежде всего открытие хемосинтеза. Суть его в первом приближении можно пояснить по аналогии с фотосинтезом — созданием зелеными растениями (а также некоторыми бактериями) органического вещества из простых компонентов, например углекислого газа и воды, за счет энергии солнечного света. Хемосинтез — это тоже образование органического вещества определенными бактериями, но за счет энергии,

выделяемой в ходе окислительно-восстановительных реакций. Сырьем для таких поставляющих энергию реакций служат простые неорганические вещества. Идея о том, что окисление минеральных веществ может давать энергию, необходимую для синтеза веществ органических, пришла в голову Виноградскому еще в 1887 г. в Страсбурге, где он вел наблюдения за серными бактериями. Однако решающие доказательства он получил в 1890 г. в Цюрихе, изучая окисление бактериями аммония (нитрификацию).

Но достижения Виноградского вовсе не ограничились открытием хемосинтеза. Его всегда интересовало, как бактерии работают в природе и как участвуют в общем круговороте веществ. В 1896 г. на общем собрании членов Императорского института экспериментальной медицины в Петербурге Виноградский произнес речь с необычным для того времени названием: «О роли микробов в общем круговороте жизни». В краткой, но общедоступной форме он рассказал, как разные бактерии, действуя сообща, заставляют двигаться по кругу все основные химические элементы, необходимые живым организмам. Фактически уже тогда Виноградский вплотную подошел к формулировке вполне современных представлений о биосфере как о системе глобальных (т.е. охватывающих всю Землю) геохимических круговоротов, ускоряемых деятельностью организмов. Заметим, что «Биосфера» В.И.Вернадского появилась только через 30 лет, да и нет



**Г.А.Заварзин. ТРИ ЖИЗНИ ВЕЛИКОГО МИКРОБИОЛОГА:** Документальная повесть о Сергее Николаевиче Виноградском.

*М.: Книжный дом «Либроком», 2009.*

в ней, на мой взгляд, того понимания «круговоротной» (а не только «накопительной») роли живых организмов, которое присуще работам Виноградского.

Безусловно, в отличие от широкой публики, профессионалы микробиологи всегда были осведомлены о работах Виноградского. Знали они не только о хемосинтезе — это как раз далеко не всеми осознавалось, поскольку считалось и так давно известным. Им, конечно, была известна методика элективных (т.е. избирательных) сред, позволяющая выявлять специфику проводимых бактериями реакций. Знали они и об исследованиях Виноградского в области микробиологии почв, особенно в связи с круговоротом азота. Что же касается биографии Виноградского, событий его личной жизни, то здесь все ограничивалось весьма отрывочными сведениями. Известно было, что когда-то он уехал из России во Францию, где и прошла значительная часть его жизни. Отношение к Виноградскому советских властей было двойственным. С одной стороны, его огромные научные заслуги не подвергались сомнению. В 1925 г. он стал почетным иностранным членом Российской академии наук, а в конце 1940-х годов его труды по микробиологии почв перевели на русский язык и даже перечислили гонорар в валюте (что было весьма важно для его материальной поддержки). С другой стороны, Виноградского рассматривали как эмигранта, «несоветского» человека, поэтому чиновники в Академии наук не позволили учредить Золотую медаль имени Виноградского. При этом другого русского эмигранта, также работавшего во Франции, — И.И. Мечникова — официально всячески прославляли. Он де, мол, уехал от ненавистного царского режима, а Виноградский состоял на государственной службе и уехал из России только в 1920 г.

И вот перед нами книга «Три жизни великого микробиолога:

Документальная повесть о Сергее Николаевиче Виноградском», целиком посвященная его жизненному пути. Автор книги — наш современник Георгий Александрович Заварзин, блестящий микробиолог, написавший интереснейший учебник «Лекции по природоведческой микробиологии»\* и множество других работ, академик РАН. Кратко охарактеризовать эту книгу непросто, невозможно даже определить ее жанр. Что это? Научная биография? В самом первом приближении — да, но научные биографии не пишутся так откровенно. Их авторы обычно стараются занять отстраненную позицию, прячут личное и зачастую невольно приукрашивают действительность. Здесь же ничто не прячется и не приукрашивается. Скорее наоборот — все выставляется напоказ. Фактически мы имеем дело с исповедью, причем исповедью двойной — и Сергея Николаевича Виноградского, и рассказывающего о нем Георгия Александровича Заварзина.

Подзаголовок книги вовсе не зря уточняет, что это ДОКУМЕНТАЛЬНАЯ повесть. В основе ее — до сих пор не опубликованная автобиография «Летопись нашей жизни», написанная 85-летним Виноградским в разгар Второй мировой войны, в 1941—1942 гг., в осажденной немцами Франции, в местечке Бри-Конт-Робер. В предисловии к книге ее редактор, Н.Н. Колотилова (нижайший ей поклон и за редактирование, и за предисловие, и за подробный комментарий), поясняет, что в начале 1960-х годов рукопись «Летописи» с оказией передали в СССР, в Академию наук. Рукопись прочитали, но публиковать не стали — посчитали, что там слишком много личного (кроме того, видимо, прекрасно понимали, что по цензурным соображениям многого в ней не пропустят), а по-

\* См.: Пилляров А.М. Основа жизненной машины планеты // Природа. 2004. №4. С.90—91.

том вообще потеряли (сейчас, слава богу, нашли!).

Г.А. Заварзин (всегда проявлявший большой интерес к Виноградскому) рукопись тогда прочитал и сделал из нее много выписок. На основании этих выписок, а также других источников он начал писать документальную книгу о Виноградском — очень яркий, лично окрашенный текст. В начале 1985 г. книга была закончена, и, как пишет в своем предисловии редактор, издание ее тогда было бы, говоря словами Виноградского, «un grand coup», событием большого значения. Но «силоу обстоятельств» ее не опубликовали. Однако через год в «Природе» вышла замечательная статья Заварзина, приуроченная к 100-летию открытия хемосинтеза, в которой автор привел цитаты из дневников Виноградского\*\*. Попытки издать книгу Заварзина предпринимались еще дважды, но только сейчас (с четвертой попытки!) она увидела свет\*\*\*. Сегодня, читая книгу, невольно восклицаешь: господи, почему же 25 лет рукопись оставалась неопубликованной, почему столь долго мы все были лишены возможности погрузиться в этот удивительный многомерный текст, от которого так трудно оторваться.

То, что разворачивается перед читателем, есть, по меткому выражению редактора, «книга в книге»: фрагменты дневников и автобиографии Сергея Николаевича Виноградского, заключенные в текст Заварзина. И первое, что бросается в глаза, это предельная искренность обоих авторов! Именно поэтому книга и читается на едином дыхании. Уже с первых страниц видно, как близок Заварзину герой его повествования. Близок не только по научным интересам, но и по

\*\* См.: Заварзин Г.А. Сергей Николаевич Виноградский // Природа. 1986. №2. С.71—85.

\*\*\* См. также: Заварзин Г.А. О летописи нашей жизни. Непреодоленные заслуги С.Н. Виноградского // Природа. 2006. №7. С.59—71.

оценке происходящего вокруг. Читая книгу, то и дело убеждаешься, что за 100 с лишним лет жизнь не так уж сильно изменилась. В тексте часто приводятся большие выдержки из «Летописи». Сказанное в них порой вызывает такой живой отклик Заварзина, что он не может удержаться и, восклицая: «Ох, Сергей Николаевич», вступает в совершенно естественный живой диалог со своим героем.

Три жизни Виноградского — это три последовательных этапа его биографии, охватившей почти столетие, и полной всевозможных перипетий. Не могли не отразиться на его судьбе и драматические события мировой истории первой половины XX в., в первую очередь — те, что происходили в России.

Жизнь первая (1856—1904). Родился в Киеве, в семье состоятельного чиновника, по образованию юриста, впоследствии — директора Киевского земельного банка. Отец оставил детям хорошее наследство, в том числе имение в Городке, в Подолии (ныне Хмельницкая обл. на Украине), которое и позднее приносило доход. Учился в гимназии, потом в университете, на юридическом факультете. Параллельно серьезно увлекался музыкой. Стремясь продолжить музыкальное образование, бросил Киевский университет и переехал в Петербург. Но спустя год отказался от профессиональной музыкальной карьеры. Поступил в Петербургский университет, уже на естественное отделение, специализировался по ботанике у А.С.Фаминцына, физиолога растений, прославившегося своими исследованиями природы лишайников (в частности, установил, что организм лишайника есть симбиоз гриба и водорослей). После этого — самостоятельная, очень напряженная научная работа за границей, открытие хемосинтеза, принесшее ему в научных кругах Европы заслуженную славу. Отказ от очень лестного предложения работать в Пастеровском институте во Франции.

Возвращение в Россию. После некоторых колебаний — согласие на предложение принца А.П.Ольденбургского возглавить отдел общей микробиологии в только что организованном Институте экспериментальной медицины (ИЭМ) в Петербурге. Этот институт вообще-то создавался под И.И.Мечникова и И.П.Павлова, но Мечников, уже наученный горьким опытом руководства Бактериологическим институтом в Одессе, категорически отказался. В 1896—1897 гг. в жизни Виноградского происходит нелегкий для него перелом, связанный со службой в ИЭМ, с необходимостью представлять начальство, общаться с высоким начальством. С грустью он пишет об этом: *«Зимний сезон вышел особенный. Была служба grand style, в которую меня втянули обстоятельства, т.е. собственно Принц. Были ответственные выступления и ответственные поручения. Но не было настоящей научной работы. Все это оставило мало удовлетворения»* (с.72). Виноградского привлекают к изучению чумы рогатого скота, а потом и человеческой бубонной чумы, эпидемия которой могла угрожать России. Он пытается войти в эту работу, но вскоре констатирует, что у него нет необходимого опыта и специальной подготовки. Несмотря на все уговоры принца Ольденбургского, Виноградский в 1905 г. увольняется со службы. Комментарий Заварзина по поводу всего этого периода звучит как приговор: «Никто не подумал, сколько было потеряно и не сделано из того, в чем Виноградский не знал себе равных. <...> Вся эта легкомысленная эпопея обошлась в четверть века развития микробиологии» (с.72)

Жизнь вторая (1905—1922). Продолжающийся кризис, фактическое прекращение какой-либо научной работы. На первое место вдруг выходит личная жизнь, которая всегда была как бы на втором плане после заня-

тий наукой. Для понимания происходящего надо пояснить, что Виноградский очень рано женился — ему было 23 года, а его невесте, Зинаиде Александровне Тихоцкой, — 19. Одна за другой рождались дочери. После трех дочерей все ждали мальчика, но четвертым ребенком оказалась тоже девочка. Эта младшая дочь Елена, появившаяся на свет, когда Виноградский закончил работы по нитрификации, заняла в его жизни особое место. Если воспитание старших дочерей Сергея Николаевича совсем не занимало (это выпадало на долю других домашних), то к младшей он чувствовал сильную привязанность и много с ней возился, особенно в летнее время, в Городке. *«Свет и радость был для меня этот ребенок»*, — пишет он в своем дневнике и потом не раз еще упоминает о том, как в тяжелое время, в Петербурге *«...дитячко так вело себя как будто оно понимало...»* (с.102—103). Подросткую Елену (Илю, или Лецон, — как звали ее дома) после горьких раздумий все же отпустили учиться за границу, в английскую школу-пансион. Тому были разные причины. Одна из них — начавшийся у Виноградского роман с молодой девушкой Луизой, случайно встреченной на прогулке в парке.

Луиза была родом из Фрейбурга. Рано осиротев, она воспитывалась в пансионе для бедных, а в Петербург приехала к тетке, которая давно служила здесь гувернанткой в богатой семье. Такая же участь ожидала и Луизу. Как пишет Виноградский: *«с 16 лет она в Петербургских местах, терпя все то, что миловидная девушка нередко испытывает в русских кругах»* (с. 110).

Связь с Луизой приняла куда более серьезный оборот после того, как она съездила во Фрейбург и отказала своему жениху. Виноградский ввел Луизу в свой дом (она обучала французскому Елену). Поначалу их отношения держались в строгой конспирации, но в конце концов Сергею

Николаевичу пришлось все объяснить жене. Луиза ожидала ребенка, и Виноградский решает увезти ее за границу. Для этого надо было получить русское подданство — и его получили с помощью фиктивного брака за деньги (в Петербурге оказалось несколько контор, которые этим занимались). Выехав с Луизой в Швейцарию, Сергей Николаевич вскоре позвал туда и жену. В книге приводится большой пассаж из текста самого Виноградского о том, как произошла их встреча, как благородно и умело повела себя Зинаида Александровна. Вскоре родилась дочка, названная Зиной (Зизи) в честь Зинаиды Александровны, которая, надо сказать, очень заботилась о малютке. По поводу всей этой истории Заварзин пишет: «Из опыта сегодняшней нашей жизни и поведения осуждать то, как люди решили трудную проблему в тех условиях, было бы фарисейством. Мы решаем те же проблемы не лучше, а без боли они не решаются вообще. И все же как выигрывает Зинаида Александровна как человеческая личность по сравнению со своим великим мужем!» (с.113).

У читателя рецензии невольно возникает вопрос — нужно ли в биографии ученого писать о подробностях его личной жизни, о том, что кажется не имеющим никакого отношения к научной работе? Но у читающего книгу таких сомнений нет. Ведь перед нами исповедь, а не формальная биография. Очевидно, что и для Заварзина чрезвычайно важна вся ЛИЧНОСТЬ Виноградского как она есть, в том числе и со всеми ее человеческими слабостями.

В расчете прежде всего на новую часть своего разросшегося семейства (Луизу, Зизи и себя с «мамочкой» — Зинаидой Александровной) Виноградский строит дом в Швейцарии, в живописном месте Кларанс. Все устройство самого жилища и сада делается по плану Сергея Николаевича и при его активном уча-

стии. В доме все продумано до мелочей, в том числе и система очистки сточных вод с помощью бактерий, и последующее использование этой воды для полива сада. Автор книги очень подробно останавливается на описании такого «шале», поскольку видит в нем прообраз «экологического жилища» уже нашего времени.

Летом 1914 г. Виноградский возвращается в Городок и наводит порядок в имении. Раньше оно приносило большой доход, но когда хозяйством стал управлять муж одной из старших дочерей, дела ухудшились. Сергей Николаевич не без гордости пишет, как ему удалось исправить допущенные ошибки, принять решительные меры и снова сделать хозяйство высокодоходным. Проявленные способности умелого землевладельца могут показаться неожиданными для ученого-экспериментатора. Но, может быть, все дело в умении Виноградского четко формулировать проблему и находить правильное решение.

Начинается Первая мировая война. Семья сначала в Киеве, потом в Екатеринославле у родственников. Дочь Елена, не поставив в известность близких, отправляется на курсы сестер милосердия, а оттуда на фронт. Сам Виноградский оказывается в Одессе, где на сеансах грязелечения знакомится с железнодорожной служащей Ксенией Никитиной. Эта последняя женщина, с которой сблизился Сергей Николаевич, сыграла в его жизни огромную роль. Он пишет: *«...не раз приходилось пользоваться ее, так сказать, мудростью, совершенно мне чуждой. И если я здесь, в Бри, и иду, годами обремененный, к своему концу, то я и все, кто интересуется моей личностью, обязаны ей. Это я здесь незадолго до моей смерти торжественно заявляю»* (выделено С.Н., с.123).

Записей 1915—1918 гг. не сохранилось, и Виноградский почти не вспоминает о них в «Летописи». Власть в Одессе

меняется очень часто. В августе 1919 г. Одесса занята Добрармией и интервентами. Ксения Никитина молит Сергея Николаевича уехать как можно скорее. Она заставляет его идти к французскому консулу (как-никак Виноградский — член-корреспондент Французской академии наук) и просить содействия для выезда. Виноградский решительно противится, не хочет становиться беженцем, но в январе 1920 г. отплывает на французском пароходе из захваченной большевиками Одессы. Как скоро выяснилось, Ксения Никитина настойчивостью своей спасла ему жизнь — за Виноградским пришли через несколько дней после его отъезда. Началась нелегкая эмигрантская жизнь в Европе. Пробовал быть профессором в университете в Белграде, но быстро осознал, что преподавательская деятельность совсем не для него. В конце этого периода — обнадеживающие контакты с Пастеровским институтом, где научным заслугам Виноградского всегда отдавали должное.

Жизнь третья (1923—1953). После 15-летнего перерыва (в возрасте 67 лет!) — возвращение в науку. Фактически специально для Виноградского в Пастеровском институте организуют отдел сельскохозяйственной микробиологии, причем по его просьбе располагают не в Париже (больших городов не любил), а в принадлежавшей институту усадьбе в небольшом городке Бри-Конт-Робер, в 30 км от Парижа. Виноградский налаживает там хозяйство и устраивает лабораторию. Основные работы этого последнего периода жизни посвящены почвенным микробам, в частности их роли в круговороте азота. В 1939 г. скончалась жена Зинаида Александровна. Виноградский остается с младшей дочерью Еленой и той самой Ксенией Никитиной, которая в свое время спасла ему жизнь (в 1923 г. Виноградскому с большим трудом удалось вызволить Никитину

с Украины, и с тех пор она жила в их доме). Когда приблизились немцы, Елена уехала. Виноградский же категорически отказался куда-либо выезжать и заявил, что будет охранять имущество отдела. С ним в оккупации оставалась только до конца преданная ему Ксения Никитина. Скончался Сергей Николаевич в 1953 г. дома, в Бри-Конт-Робер. Там же он и похоронен. Могила сохранилась, и недавно Колотилова привезла на нее землю из Городка (но об этом уже в книге не сказано).

Рассказывая о книге Заварзина, невольно ловишь себя на том, что начинаешь ее пересказывать. Но этого делать не надо. Лучше посоветовать читателю все же достать книгу и прочесть ее. Она интересна не только жизнеописанием Виноградского. Она и об исторических событиях, нашедших преломление в частной жизни ученого (и это при том, что Виноградский избегал в «Летописи» каких-либо оценок политических событий). Она и о развитии общей микробиологии в нашей стране. И о попытках властей (в частности, принца Ольденбургского) наладить научную работу в России в 90-е годы XIX в. (очень интересно, с неожиданной стороны, — о Мечникове). О невольном сравнении стиля работы в научных уч-

реждениях разных стран. И о многом другом.

Вдохновенно Заварзин написал и о другом выдающемся микробиологе, современнике Виноградского, — голландце Мартине Бейеринке (1851—1931), который напоминал Виноградского не только склонностью к уединенному образу жизни. Бейеринк работал в очень близкой области и, как заметил автор, наверняка открыл бы хемосинтез, если бы раньше этого не сделал Виноградский.

Но все же главное в книге — это неповторимая личность С.Н.Виноградского, классического интраверта, человека, избегающего толпы, лекций, общественной деятельности, любителя работать в одиночку и все делать своими руками. Только в последний период жизни ему помогли дочь и Ксения Никитина. Виноградский обладал редкой способностью глубоко концентрироваться на выбранной научной задаче. Он был блестящим экспериментатором, но вместе с тем — и тонким наблюдателем. Он научился работать с почвенными бактериями, которых очень трудно, а то и невозможно культивировать. Ведя жизнь анхорета, он, тем не менее, старался всегда быть в курсе мировых событий в его области науки. Прекрасно понимая значимость своих открытий, он публиковал

результаты работ в известных научных журналах на немецком и французском языках (английский еще не был тем языком науки, каким он стал сейчас). У Виноградского почти не было учеников. Его окружали близкие ему женщины, любимые им и любившие его. Жизнь научная и жизнь личная, как ни стараются их разделить, на самом деле очень тесно соприкасаются.

Начав писать свою «Летопись» в конце 1941 г., Сергей Николаевич закончил ее 1 октября 1942 г. В конце привел цитату из Гёте — стих ангела, уносящего душу Фауста:

«Wer immer sterbend sich bemüht

Der können wir arlösen»

(«Кто жил, трудясь, стремясь весь век, / Достоин искупленья» — перевод Н.Холодковского. И.В.Гёте. Фауст. Ч. II. Сцена 5. Акт V).

И, как бы в унисон Виноградскому, Георгий Александрович последнюю главу своей книги о нем заканчивает тоже цитатой: «...Толпа жадно читает исповеди, записки, etc., потому что в подлости своей радуется унижению могущего... *Он мал, как и мы, он мерзок, как мы!* Врете, подлецы: он и мал, и мерзок — не так, как вы, — иначе» (А.С.Пушкин)\*.■

\* Выдержка из письма П.А.Вяземскому (речь идет о мемуарах Дж.Г.Байрона).

## География

**Н.Пржевальский.** МОНГОЛИЯ И СТРАНА ТАНГУТОВ. Вступ. ст. М.Г.Кадек. М.: Мир книги: Литература, 2009. 400 с. (Сер. «Путешествия вокруг света».)

Николай Михайлович Пржевальский (1839—1888) — знаменитый русский путешественник, был первым исследователем природы Центральной Азии. Он обладал изумительной способностью наблюдать, умел соби-

рать большой и разнообразный географический и естественно-научный материал и связывать его воедино. Он был крупнейшим представителем сравнительной физической географии, зародившейся в первой половине XIX в. В честь Пржевальского в 1891 г. Русское Географическое общество учредило серебряную медаль и премию его имени, в 1946 г. — золотую медаль.

В книге «Монголия и страна тангутов» изложены научные результаты одной из экспеди-

ций Пржевальского, дающие яркую картину природы и характеристики рельефа, климата, рек, озер, растительности и животного мира.

«Три года сряду выносили мы борьбу со всеми трудностями странствования в диких странах Азии, — писал Пржевальский, — и только благодаря необыкновенному счастью могли достигнуть своей цели: пробраться на озеро Куку-нор и даже в Северный Тибет, на верховья Голубой реки. <...>

Но зато, если я был счастлив нравственно, так сказать, обстановкою дела, то, с другой стороны, материальные средства нашей экспедиции были крайне ничтожны, а это как нельзя более отражалось на самом ходе путешествия. Не говоря уже про различные лишения, которые мы испытывали в пути исключительно по неимению денег, мы не могли даже запастись в достаточной мере хорошими инструментами для производства наблюдений».

Эта книга вместе с другими его сочинениями сделала Пржевальского известнейшим исследователем Азии, человеком, про которого вице-президент Русского Географического общества П.П.Семенов-Тянь-Шанский сказал: «Лавры его венка суть вместе с тем лучшие лавры почти полувековой деятельности нашего общества».

### География

**П.И.Челищев.** ПУТЕШЕСТВИЕ ПО СЕВЕРУ РОССИИ В 1791 ГОДУ. М.: ОГИ, 2009. 304 с. (Сер. «Путешествия».)

Петр Иванович Челищев совершил свое путешествие через 10 месяцев после ссылки А.Н.Радищева, его друга. Сведений о жизни Радищева (1745—1811) немного. Родился в Смоленской губернии в старинной дворянской семье. Окончил Пажеский корпус в Петербурге. Учился в Лейпцигском университете вместе с Радищевым. Во время Русско-турецкой войны — офицер лейб-гвардии Гренадерского полка, показал свою храбрость, но по доносу уволен из армии. Екатерина II подозревала его в том, что он причастен к появлению книги Радищева «Путешествие из Петербурга в Москву». Но прямых улик не нашлось, и его не привлекали к суду. От всех невзгод он в 1791 г. предпринял длительное путешествие по северным

окраинам Российской империи, во время которого вел подробный журнал, день за днем записывая сведения этнографического и экономического характера. По возвращении пытался его издать, но, в силу понятных обстоятельств, безуспешно. Известно из его прошения 1806 г., что он «лишился сил, зрения» и находится «в мучительной нищете». «Подробный журнал путешествия моего, 1791», в 33 частях, был опубликован А.Майковым лишь в 1886 г. под названием «Путешествие по Северу России в 1791 году. Дневник П.И.Челищева» и до сего времени более не издавался.

### География

**К.К.Случевский.** ПО СЕВЕРУ РОССИИ. М.: ОГИ, 2009. 304 с. (Сер. «Путешествия».)

Константин Константинович Случевский (1837—1904) — известный поэт. Сын сенатора, он окончил Кадетский корпус, служил в гвардейском Семеновском полку, поступил в Академию Генерального штаба. Первые его стихи одобрили А.А.Григорьев и И.С.Тургенев. Публиковался в «Отечественных записках» и «Современнике». Однако пришелся по вкусу не всем читателям, подвергся осмеянию Н.А.Добролюбовым. Оскорбленный, он перестал печататься, бросил военную службу и уехал в Гейдельбергский университет, где получил степень доктора философии. Вернувшись, снова печатает стихи, одновременно занимая значительные посты в ряде министерств. Дослужился до тайного советника и стал членом совета Главного управления по делам печати.

В свите великого князя Владимира Александровича, командующего Петербургским военным округом, совершил путешествие по Северу России. Для великого князя это были инспек-

ционные поездки с целью проверки военных реформ и мобилизационной готовности транспортной системы северного региона. Попутно великий князь знакомился с историческими и культурными достопримечательностями. Именно это составляло сферу интересов Случевского. Перед глазами читателя проходят мастерски описанные им особенности природы, картины древних монастырей и храмов, изысканных усадеб и парков.

Путь начинался от станции Волхово, откуда продолжался парходом до Грузина — вотчины графа Аракчеева, затем — речным и сухопутным транспортом до Мариинской системы и Онежского озера. Вместе с автором мы осматриваем Кириллов монастырь, Петрозаводск, восхищаемся красотами Олонецкого края. А вот и городок Лодейное Поле, родина, как пишет Случевский, Балтийского флота — отсюда пошли первые суда, построенные Петром I. Далее Ладожское озеро и Шлиссельбург — здесь заканчиваются путешествие 1884 г. и первая часть книги.

Столь же увлекательная и вторая часть (1885), из которой особо отметим посещение Святогорского монастыря и теплую беседу с Григорием Александровичем Пушкиным в Михайловском. Нельзя опустить зарисовку визита во Владимиро-Мариинский академический приют у истоков Мсты. Попечитель его В.А.Кокорев создал там условия для работы художников-академиков. Свиту приветствовали В.С.Верещагин, К.А.Сомов и «бывший московский голова» С.М.Третьяков, нам известный как собиратель западноевропейской живописи, переданной Москве, и брат П.М.Третьякова, основателя Третьяковской галереи.

Путешествие, о котором идет речь, заканчивается в Архангельске.

# Нобелевские коллизии 70-летней давности

А.М.Блох,  
доктор геолого-минералогических наук  
Москва

70 лет назад, в 1939 г., когда в Европе уже полыхала развязанная Гитлером война, в Стокгольме были обнародованы имена очередных нобелевских лауреатов. Половина из шести лауреатов, заслуживших награду по разделам науки, оказались подданными Третьего рейха.

Премия по химии была разделена Королевской академией наук между тремя претендентами — немецкими учеными Рихардом Куном и Адольфом Бутенандтом и Леопольдом Ружичкой, директором и профессором Федерального технологического института в Цюрихе (Швейцария). Нобелевская награда по разделу физиологии и медицины досталась, наряду с бельгийским фармакологом Корнеем Хеймансом, также подданному Рейха Герхарду Домагу из Мюнхенского университета.

В том году первым обнародовал свое решение Каролинский институт — учреждение-наделитель премий по физиологии или медицине. Оттого первая ярость бесноватого фюрера обрушилась на голову Домагку, которого гестапо сразу же, в день оглашения стокгольмского вердикта, водрузило на тюремные нары, где он и пребывал, пока публично не заявил об отказе от нобелевской награды. Оба химика, узнав о своем награждении, опережая события, сами поспешили проинформировать Королевскую академию наук, что отказываются от присужденной награды.

Подноготная этих отказов для цивилизованного мира секретета не составляла. Если не считать Советского Союза, который к ноябрю 1939 г., когда были обнародованы вердикты учрежденный-наделителей нобелевских наград, уже был связан с нацистской Германией двумя договорами — о ненападении, заключенным в конце августа 1939 г., и о дружбе и сотрудничестве — месяцем с лишком позже. Потому никаких сведений о нобелевских награждениях и отказах от наград наши средства массовой информации не сообщали...

После разгрома нацизма все трое нобелевских лауреатов дезавуировали свои отказы от наград, объяснив свой шаг неприкрытым террором со стороны нацистских властей. Нобелевский фонд, рассмотрев их ходатайства, согласился с приведенными доводами потерпевших и принял решение считать их заявления 1939 г. ничтожными. Иначе говоря, вырванными из них преступной властью под угрозой их здоровью и жизни. Потому было решено в ближайший день 10 декабря — ежегодный день торжественного вручения очередных нобелевских наград — каждому из троих вручить полагающуюся золотую медаль и диплом лауреата Нобелевской премии. Что в действительности и произошло. Но без сопровождающего чека денежной составляющей нобелевской награды.

В соответствии с буквой Устава Нобелевского фонда, сразу после объявления награжденно-го об отказе принять награду

полагавшаяся ему сумма немедленно возвращается в закрома Фонда и изъятию оттуда не подлежит. Что в ситуации с немецкими лауреатами и произошло.

Добавим к описанной коллизии близкую к ней историю с нобелевской наградой по разделу литературы, присужденную в 1958 г. Борису Пастернаку. Мстительная власть, как и 18 лет назад в Германии, вынудила его взять назад высказанную ранее благодарность за оказанную высокую честь.

Более 30 лет спустя, в 1989 г., тогдашний посол Швеции в Советском Союзе Эрьян Бернер по своей инициативе обратился в Шведскую академию — учреждение-наделитель нобелевской премии по литературе — с просьбой дезавуировать отказ Пастернака от присужденной награды как шаг вынужденный, сделанный под давлением властей, послушный им прессы и общественности.

Постоянный секретарь Шведской академии Стуре Аллен, т.е. высшее ее лицо, 9 декабря 1989 г., за день до процедуры награждения лауреатов Нобелевской премии того года, в переполненном зале Академии передал в руки Евгения Борисовича, сына покойного лауреата, золотую медаль и сопутствующий ей диплом. И тоже без денежной части награды...

Вернемся, однако, назад, в 1939-й, и остановимся на фигуре еще одного лауреата премии по химии — на Леопольде Ружичке, удостоенном этой награды «за работы по полиметиленам и высшим терпенам», от-

носящимся к разряду химии половых гормонов. Родом Ружичка был из Сербии и потому исторически не может не представлять для российского читателя особого интереса.

Родился он в 1887 г. в городке Вуковаре. Ему не было еще и четырех лет, когда внезапно умер отец и овдовевшая мать с двумя сыновьями перебралась к родственникам, жившим в Осиеке. Сербия в те времена была составной частью Австро-Венгерской империи. Это лоскутное государство на рубеже 20-го столетия сотрясали непрекращавшиеся студенческие волнения — преимущественно на этнической почве, и Леопольд, окончив в 1910 г. гимназию, предпочел продолжить образование в Германии — в Техническом университете в Карлсруэ.

Смышленный и старательный студент вскоре приглянулся молодому доценту Герману Штаудингеру, по возрасту на шесть лет старше своего подопечного. Он принял его под свою опеку, а в дальнейшем, после завершения Ружичкой курса образования, сделал своим ассистентом.

Вскоре Штаудингеру был предложен пост директора Федерального технологического института в Цюрихе (Швейцария). С шефом туда же отправился и Ружичка; несколько лет спустя он принял швейцарское подданство. Именно там и окреп его талант тонкого исследователя, приведший в итоге к высшей научной награде современного человечества.

Не в пример коллегам по Нобелевской премии ему не пришлось отказываться от ее получения. Но и он не смог принять награду на ее родине, из рук короля в заполненном огромном зале стокгольмского Концертхолла. В связи с начавшимися в Европе военными действиями нобелевские торжества были отменены, а лауреатам 1939 г., не подпавшим под топор гитлеровского беззакония, награды были вручены на их родине аккредитованными в этих странах

шведскими послами. Церемония вручения награды Ружичке состоялась в 1940 г. в здании цюрихского Федерального технологического института...

Нейтралитет второй родины лично на него не распространялся, но об участи оккупированной отчизны он не забывал ни на мгновение. При всей его подчеркиваемой аполитичности, с которой он прожил до конца своих дней, нацизм он всегда воспринимал как нетерпимое зло.

В годы войны он сумел помочь нескольким ученым-евреям бежать из оккупированной Европы за океан, другим сам обеспечивал приют. Он помогал югославскому движению Сопротивления. Не только через благотворительные организации, существовавшие в Швейцарии, но и по мере своих личных связей и возможностей. Основание швейцарско-югославского общества по оказанию помощи жертвам развязанной нацистами войны — тоже его заслуга. Притом забота о них проявлялась не только во время военных действий, но и после полного разгрома нацизма.

По достижении 60 лет Ружичка начал постепенно отходить от активной научной деятельности. В конце концов его интересы полностью переключились на коллекционирование произведений изобразительного искусства, с креном на работы голландских и фламандских мастеров XVII в. Чему не мог помешать даже генетически свойственный ему дальтонизм. Впоследствии он пожертвовал свою коллекцию цюрихскому Кунстхаузу.

В процессе коллекционирования он посещал регулярно многочисленные аукционы не только в Швейцарии, но и за рубежом. Особенно часто бывал в Великобритании, где, в частности, сумел приобрести ценнейший портрет Филиппа IV Испанского. Судьба этого шедевра, однако, была трагичной.

Будучи выставленной как часть картин Ружички в 1981 г.

в цюрихском Кунстхаузе, картина погибла. Приехавший из Мюнхена посетитель музея, оказавшийся душевнобольным, облил полотно воспламеняющейся жидкостью, после чего от полотна осталась лишь пригоршня пепла...

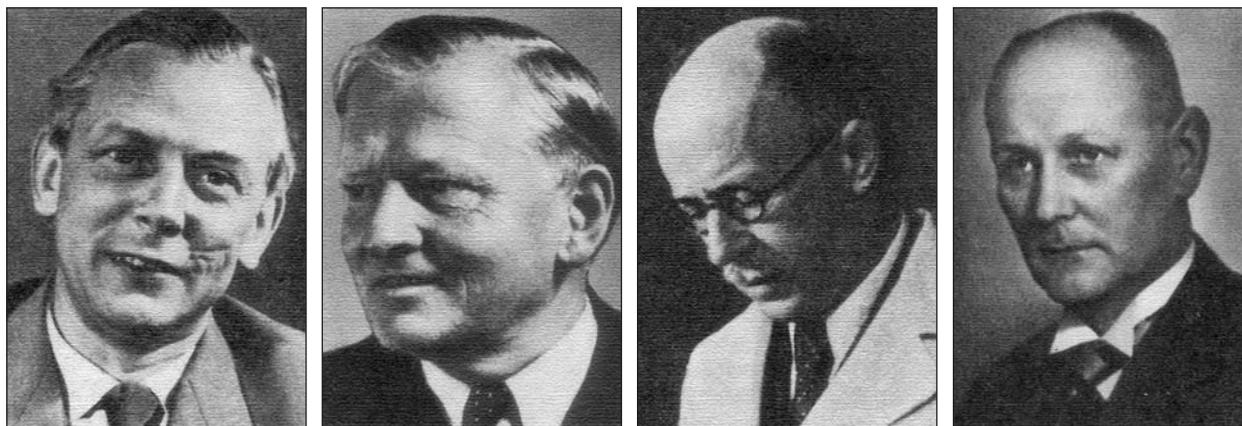
Перестав активно заниматься наукой, Ружичка вспомнил и о своих обязательствах перед Нобелевскими комитетами по части номинирования претендентов на очередные награды — как по химии, так и по физике. Такая привилегия предусмотрена уставными положениями для лауреатов премии, награжденных по разделам, относящимся к Королевской академии наук.

На приглашения нобелевских комитетов он откликался почти регулярно, но рекомендации его были случайными и положительного отклика со стороны экспертов не встречали. Все изменилось в 1957 г., когда обоим комитетам он предложил по три группы претендентов на очередную награду.

По разделу химии им рекомендовались на экспертное рассмотрение следующие кандидатуры: Дороти Ходжкин из Оксфорда и Александер Тодд из Кембриджа; Фредерик Сенгер из Кембриджа; Мелвин Калвин из Беркли, штат Калифорния.

Все его четыре выдвиженца, друг за другом, были удостоены нобелевских наград. В том самом 1957 г. премия была присуждена Тодду, в следующем году ее получил Сенгер, в 1961-м — Калвин и, наконец, в 1964-м — Ходжкин. Ошеломляющее предвидение номинатора...

Не менее прозорливым показал он себя в этот раз и в номинировании по разделу физики. Двумя годами позже, в 1959-м, нобелевской награды был удостоен его выдвиженец 1957-го Эмилио Сегре из калифорнийского Беркли. С существенной задержкой, в 1995 г., нобелевским лауреатом стал Фредерик Райнес из Лос-Аламоса, который вместе с коллегой К.Коуэном в 1956 г. показал, что нейт-



Лауреаты Нобелевской премии 1939 г.: Адольф Бутенандт, Рихард Кун, Леопольд Ружичка, Герхард Домагк.

рино — физически наблюдаемая частица. Их обоих Ружичка номинировал по горячим следам. Но Коуэн до года награждения, увы, не дожил. А посмертные награждения Устав Нобелевского фонда не допускает...

Третьей группой претендентов на награду 1957 г. по предложению Ружички могли стать трое советских физиков-ядерщиков из Москвы — Г.И.Будкер, В.И.Векслер и А.А.Наумов. Один из них, Векслер, до того неоднократно выдвигался зарубежными номинаторами еще в 1940-х годах, но тотальная засекреченность его работ стала непреодолимой преградой для награждения.

Венгерский ученый-химик и историк науки Иштван Харгиттай встретился, уже после кончины Ружички, в 1976 г., с его учеником и земляком Владимиром Прелогом, родом из Сараева, тоже удостоившимся нобелевской награды по разделу химии в 1975-м, и узнал от него подробности о том, как Ружичка начал собирать свою коллекцию голландских средневековых живописцев.

«Во время войны, — рассказывал он, — компания «Сибя» в значительных количествах производила в США тестостерон по методу Ружички. В счет гонорара там накопилось несколько миллионов швейцарских франков; американцы не хотели перево-

дить их в Швейцарию, опасаясь, что она будет оккупирована германской армией. После войны, когда деньги были переведены, значительная их часть могла быть изъята в качестве налога. Чтобы избежать этого, Ружичка пожертвовал их фонду, который дал ему возможность создать коллекцию голландской живописи, выставленную в Кунстхаузе в Цюрихе. Он занялся покупкой картин и проводил большую часть своего времени, посещая аукционы в Швейцарии и за границей, преимущественно в Англии».

И далее — об истории с наиболее ценным его приобретением, о котором уже упоминалось, — о портрете испанского короля Филиппа IV.

«Чтобы вывезти такую картину из Англии, требовалось разрешение лондонской Национальной галереи, поскольку она обладала преимущественным правом покупки уникальных предметов искусства во избежание их утраты для Англии. После получения этого разрешения Ружичка отправился в Лондон, чтобы окончательно все уладить. Во время его пребывания в Лондоне он был приглашен на обед своим приятелем, сэром Яном Хейльброном, и встретил директора Национальной галереи. Они поговорили об уже выданном разрешении, и директор заметил, что

картина в очень плохом состоянии и должна быть тщательно очищена. Он предложил услуги своих специалистов, и Ружичка с благодарностью принял это предложение... После расчистки эксперты нашли, что картина изумительно хороша, и Национальная галерея аннулировала свое разрешение на вывоз...».

Однако Ружичка все же нашел разумный выход из создавшегося патового положения. Поскольку юридически картина уже являлась его собственностью, пока он не покинул страну пребывания, он своею волей передал портрет на временное хранение швейцарскому посольству в Лондоне. Там она и находилась до поры, пока дипломаты не урегулировали возникшую коллизию в пользу нобелевского лауреата.

А в Швейцарии произошло то, о чем уже упоминалось выше. По поводу чего повествователь Владимир Прелог меланхолически заметил: «Если бы Ружичка не был столь удачлив во всем, что он предпринимал, шедевр Рубенса до сих пор мог бы служить предметом восхищения в Англии». И заключил: «на меня всегда производили сильное впечатление роковые последствия совершенно невообразимого хода событий»\*. ■

\* Харгиттай И. Откровенная наука. Беседы со знаменитыми химиками. М., 2003. С.137—138.

# Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**  
**Л.П.БЕЛЯНОВА**  
**Е.Е.БУШУЕВА**  
**М.Ю.ЗУБРЕВА**  
**Г.В.КОРОТКЕВИЧ**  
**К.Л.СОРОКИНА**  
**Н.В.УЛЬЯНОВА**  
**Н.В.УСПЕНСКАЯ**  
**О.И.ШУТОВА**

Литературный редактор  
**С.В.ЧУДОВ**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

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, Мароновский пер., 26  
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (499) 238-24-56  
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 7.07.2009  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 459  
Набрано и сверстано в редакции

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