

# ПРИРОДА

9 10



**В НОМЕРЕ:****3 Ксанфомалити Л.В., Зеленый Л.М.,  
Захаров А.В., Кораблев О.И.****Планетные системы  
ближайших звезд**  
Окончание**14 Герман А.Б.**  
**Позднемеловой климат Сибири:  
геологические данные  
и компьютерные модели**

В меловом периоде ледовые полярные шапки были значительно меньше современных, теплолюбивые животные и растения проникали далеко в высокие широты, а леса распространялись вплоть до 85°с.ш.

**21 Марков А.В.**  
**Эволюция и мораль**

Кооперация, взаимопомощь и самопожертвование свойственны не только человеку, но и многим животным и даже микроорганизмам. Происхождение нравственности и альтруизма успешно объясняет эволюционная биология.

**29 Ситдикова Г.Ф., Зефирова А.Л.**  
**Сероводород: от канализации  
Парижа к сигнальной молекуле**

Сероводород давно известен как зловонный и ядовитый газ. Но, оказывается, такая опасная молекула может играть роль внутри- и межклеточно посредника в организме животных, в том числе человека.

**38 Соколова О.С.**  
**Как увидеть «нано»?**

Просвечивающая электронная микроскопия, которую начали разрабатывать более 40 лет назад, сегодня с успехом применяется для изучения наночастиц. Современная электронная томография позволяет заглянуть внутрь целой клетки и изучать ее молекулярное строение.

**44 Котляков В.М., Саруханян Э.И.,  
Фролов И.Е.****Первые итоги Международного  
полярного года 2007–2008**

В течение двух лет участники МПГ 2007–2008 сделали важнейшие научные открытия, разработали новые методы и технологии, расширили междисциплинарные и международные связи в области полярной науки, пришли к новому пониманию значения полярных регионов в системе планеты Земля.

**56 Кречмар А.В.**  
**Ареалы северных птиц**

Более чем полувековой опыт исследований экологии птиц на северо-востоке Азии и анализ данных других ученых за последнее столетие позволили автору получить полное представление об орнитофауне региона.

**Научные сообщения****64 Лукашина Н.П.**  
**Эволюция Северной Атлантики  
и глобального межконтинентального  
круговорота****72 Масоликова Н.Ю., Сорокина М.Ю.**  
**От Абрикосовых до Щукиных:  
«новые русские» и наука****О чем писала «Природа»****78 Берг Л.С.**  
**Вопрос об изменении климата  
в историческую эпоху****Послесловие от редакции (83)****86 Новости науки**

Гиперскоростная звезда вылетает из центра Галактики. **Вибе Д.З. (86)**. Астероидная атака на Юпитер **(87)**. Углеродные нанотрубки в аккумуляторах **(87)**. Углеродные нанотрубки на защите водных ресурсов **(88)**. Регуляция активности «генов цветения» **(89)**. Глубокое бурение льда близ вершины Эльбруса **(89)**. Озеро Эльгыгьтгын хранит историю климата Арктики за 3.5 миллиона лет **(90)**.

**Рецензии****91 Розенберг Г.С., Саксонов С.В.,  
Сенатор С.А.**  
**Ботанический мир Поэта**  
(на кн.: А.А.Титлянова. «Дремучее царство  
растений» Бориса Пастернака глазами  
ученого-эколога)**93 Новые книги****В конце номера****95 Волкова А.В.**  
**Встреча с редкой книгой**

## CONTENTS:

- 3 Ksanfomality L.V., Zelenyj L.M., Zakharov A.V., Korablev O.I.**  
**Planetary Systems of Proximate Stars**  
 Part Two

- 14 German A.B.**  
**Late Cretaceous Climate of Siberia: Geological Data and Computer Models**

*In the Cretaceous polar ice caps were significantly smaller than now, heat-loving plants and animals penetrated far into high latitudes, and forests extend up to 85° N.*

- 21 Markov A.V.**  
**Evolution and Morality**

*Co-operation, mutual aid and self-sacrifice are not confined to humans, but peculiar for many animals and even microorganisms. The origin of morality and altruism is successfully explained by evolutionary biology.*

- 29 Sitdikova G.F., Zefirov A.L.**  
**Hydrogen Sulfide: from the Sewer of Paris to the Signaling Molecule**

*Hydrogen sulfide has long been known as a foul-smelling and poisonous gas. But it turns out that this dangerous molecule may play the role of intra- and intercellular mediator in the bodies of animals, including humans.*

- 38 Sokolova O.S.**  
**How to See «Nano»?**

*Transmission electron microscopy, which began to develop more than 40 years ago, today successfully applied to the study of nanoparticles. Modern electronic imaging allows to look inside the whole cells and to study their molecular structure.*

- 44 Kotlyakov V.M., Sarukhanyan E.I., Frolov I.E.**

**The first results of the International Polar Year 2007–2008**

*Within two years, participants of the IPY 2007–2008 made important scientific discoveries, developed new methods and technologies, increased interdisciplinary and international communication in the polar sciences, came to a new understanding of the significance of the polar regions in the Earth system.*

- 56 Krechmar A.V.**  
**Ranges of Northern Birds**

*More than half a century of experience in ecological studies of birds in North-East Asia and the analysis of data of other scientists over the past century have allowed the author to obtain a complete picture of the ornithological fauna of the region.*

### Scientific Communications

- 64 Lukashina N.P.**  
**Evolution of the North Atlantic and Global Inter-Oceanic Circulation**

- 72 Masolikova N.Yu., Sorokina M.Yu.**  
**From Abrikosovs to Shchukins: «New Russians» and Science**

### What «Priroda» Wrote About

- 78 Berg L.S.**  
**The Problem of Climate Change in Historical Time**

**Postscript from the Editor (83)**

- 86 Science News**

Ultrafast Star Is Flying out of the Galactic Center. **Wiebe D.Z.** (86). Asteroid Attack on Jupiter (87). Carbon Nanotubes in Batteries (87). Carbon Nanotubes Protect Water Resources (88). «Blossom Genes» Activity Regulation (89). Deep Ice Drilling Near Elbrus Summit (89). Lake Elgygytgyn Keeps Arctic Climate History of the Last 3.5 mln Years (90).

### Books Review

- 91 Rozenberg G.S., Saksonov S.V., Senator S.A.**  
**Botanical World of a Poet**  
 (on book: A.A.Titlyanova. «Primeval Plant Kingdom» of Boris Pasternak by the Eyes of an Ecologist)

- 93 New Books**

### In the End of the Issue

- 95 Volkova A.V.**  
**Encounter with a Rare Book**

# Планетные системы ближайших звезд

Л.В.Ксанфомалити, Л.М.Зеленый, А.В.Захаров, О.И.Кораблев

## Три «горячих юпитера»

Свойства многочисленных экзопланет типа «горячий юпитер», проанализированные рядом научных коллективов, иллюстрируют три примера: экзопланеты HD 209458 b, HD 149026 b и HD 189733 b. Во всех трех случаях наблюдаются транзиты, поэтому масса этих экзопланет определена достаточно точно. На диаграмме рис.12 первые две расположены в самой верхней (HD 209458 b) и нижней (HD 149026 b) ее частях, а последняя (HD 189733 b) представляет «очень горячие юпитеры».

**HD 209458 b.** Свойства системы HD 209458, включающей первую экзопланету с транзитами, оказались удобными для исследований, несмотря на ее умеренную удаленность (47 пк). HD 209458 — звезда близкого к солнечному классу (G0V), слишком слабая для невооруженного глаза. Ее спокойная фотосфера допускает МЛС-измерения вплоть до 3 м/с. Звезда немного больше Солнца по массе (1.06 солнечной массы) и по радиусу (1.18 солнечного). Она старше Солнца (возраст 5.2 млрд лет); ее планетная система прошла долгий путь эволюции. Хотя пока нам известна только одна ее планета, это именно тот наиболее интересный объект нового типа — «горячий юпитер» с 3.5-суточным периодом, типичный для внесолнечных систем, но отсутствующий в Солнечной системе.

Окончание. Начало см. в №8.

© Ксанфомалити Л.В., Зеленый Л.М., Захаров А.В., Кораблев О.И., 2010



**Леонид Васильевич Ксанфомалити**, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией радиометрии Института космических исследований (ИКИ) РАН. Научный руководитель ряда экспериментов по исследованиям планет. Область научных интересов — физика планетных тел Солнечной и звездных систем, поиск жизни на планетах. Член Международного астрономического союза.



**Лев Матвеевич Зеленый**, академик, директор ИКИ РАН, профессор Московского физико-технического института. Научные интересы связаны с плазменными процессами в космической среде, физикой и эволюцией Солнечной системы. Член ряда международных научных организаций, включая Международную академию астронавтики. Член редколлегии журнала «Природа».



**Александр Валентинович Захаров**, доктор физико-математических наук, ученый секретарь ИКИ РАН. Занимается физикой космической плазмы, исследованиями малых тел Солнечной системы. Член Международной академии астронавтики.



**Олег Иванович Кораблев**, доктор физико-математических наук, заместитель директора и заведующий отделом физики планет того же института. Специалист в области физики планет, научный руководитель экспериментов на отечественных и зарубежных космических аппаратах в программах «Марс-96», «Марс Экспресс», «Венера Экспресс», «Бени Колombo»

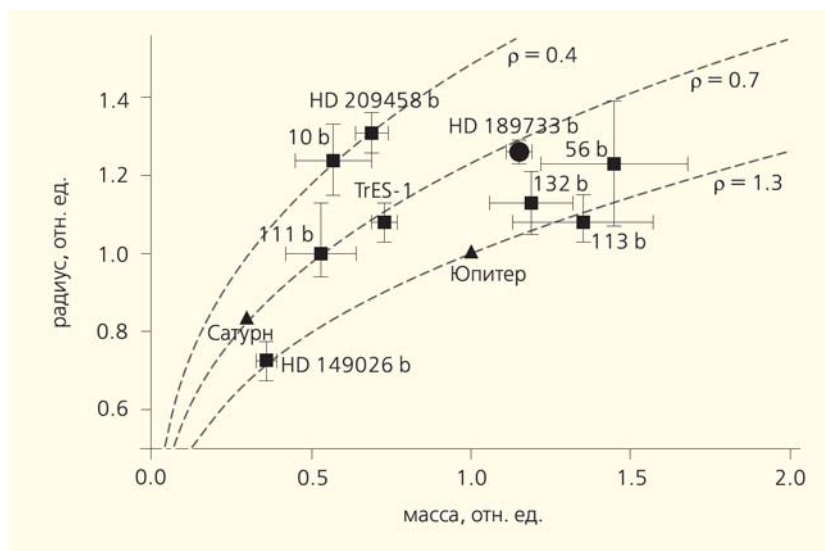


Рис.12. Характеристики масса—радиус для девяти экзопланет с транзитами (включая HD 209458 b, HD 149026 b, TrES-1) и пяти объектов, открытых по программе OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment, квадраты) и HD 189733 b (кружок), в сравнении с Юпитером и Сатурном (треугольники), согласно [6]. У штриховых кривых указана средняя плотность в г/см<sup>3</sup>.

Впервые транзиты экзопланеты HD 209458 b (рис.11, см. первую часть статьи) наблюдались наземными и космическими средствами почти одновременно, в 2000 г. Глубина уменьшения яркости звезды при проходе планеты достигает 1.6%. Период HD 209458 b, благодаря частым транзитам, определен с высокой точностью, 3.524738 сут. Большая полуось планетной орбиты составляет 0.045 а.е. По длительности транзита найдена широта прохождения планеты по диску звезды (угол  $i = 86^\circ$ ). Масса HD 209458 b установлена точно и составляет 0.67 массы Юпитера. Это соответствует очень низкой средней плотности планеты, 0.29–0.33 г/см<sup>3</sup>, что вдвое меньше средней плотности Сатурна (0.64 г/см<sup>3</sup>). Из результатов наблюдений HD 209458 b были сделаны первые важные выводы относительно природы других аналогичных гигантов.

Температура атмосферы данного «горячего юпитера» составляет примерно 1350 К на уровне, эквивалентном 1 кбар в атмосфере настоящего Юпитера. Вы-

сокая температура определяется и низкими отражательными свойствами атмосферы экзопланеты (менее 0.28), и тем, что постоянная излучения родительской звезды HD 209458 в 1.5 раза превышает солнечную. В отличие от планет-гигантов Солнечной системы, экзопланеты очень темные. Атмосфера «горячего юпитера» должна быть обеднена тугоплавкими элементами (железом, алюминием, кремнием), конденсирующимися при температурах 1700–2500 К (они оседают в атмосфере). На уровне давления 10 бар предполагается расположение плотных облаков, в составе которых — силикаты, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> и/или MgSiO<sub>3</sub>. Возможно присутствие других соединений и частиц восстановленного железа. В спектре планеты, в ближнем ИК-диапазоне, должны наблюдаться полосы CO, CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. Надоблачная атмосфера должна содержать пары H<sub>2</sub>O, TiO и CH<sub>4</sub>. Проведенные спектральные исследования атмосферы HD 209458 b подтвердили такие предположения.

**HD 149026 b.** В 2005 г. были обнаружены транзиты экзопла-

неты у второй (после HD 209458) сравнительно яркой звезды близкого к солнечному класса, HD 149026. Расстояние до нее составляет 79 пк. Звезда в 1.3 раза массивнее Солнца, а ее радиус больше солнечного в 1.45 раза. В противоположность предыдущей, эта звезда моложе Солнца (возраст около 2 млрд лет). Масса планеты около 0.36 массы Юпитера (1.2 массы Сатурна, или 115 масс Земли), период 2.8766 сут, орбитальное расстояние 0.042 а.е. Радиус орбиты всего в шесть раз больше радиуса звезды, а отношение радиусов звезды и планеты равно 20.

Уже первые результаты наблюдений транзитов HD 149026 b указали на необычные свойства экзопланеты. Малое ослабление яркости звезды при транзите (в пять раз меньше, чем в случае HD 209458 b) указывает на относительно небольшой радиус планеты (он составляет 0.85 радиуса Сатурна), что противоречит ее сравнительно большой массе. HD 149026 b представляет собой новый класс внесолнечных планет. По своему положению она соответствует «горячим юпитерам», но обладает массивным ядром из тяжелых элементов: судя по массе и радиусу, у HD 149026 b есть гигантское ядро (массой около 67 масс Земли) из плотных составляющих, со средней плотностью около 5.5 г/см<sup>3</sup>. Формирование такой планеты трудно объяснить в рамках существующих теорий. В поисках объяснения привлекаются аналогии с Нептуном (в свою очередь, возникновение Нептуна в Солнечной системе объяснить тоже сложно). Если следовать теории гравитационной неустойчивости (см. ниже), формирование планеты происходило под действием излучения находившейся достаточно близко массивной звезды, что вызвало испарение внешних газовых оболочек. В конце концов, если исходить из солнечного состава протопланетного диска, так мог возникнуть странный Нептун с ядром в 17 масс Земли. Но в случае

экзопланеты HD 149026 b с ее гигантским ядром сценарий гравитационной нестабильности должен быть сложнее. Такому объекту вообще трудно окончательно сформироваться за время существования системы HD 149026.

На рис.13 сравнивается предполагаемое внутреннее строение HD149026 b и Юпитера. Только значительное различие в строении этих гигантов может объяснить высокую среднюю плотность планеты. Предложены несколько гипотез о каменном или ледяном (в планетофизическом смысле) составе ядра HD149026 b.

**HD 189733 b.** Одна из наиболее интересных планет с наблюдаемыми транзитами, HD 189733 b, относится к «очень горячим юпитерам» (находящимся на наиболее низких орбитах). Звезда HD 189733 находится гораздо ближе к Земле, чем HD 209458, всего в 19.3 пк. Она меньше Солнца, более позднего класса (K1-K2); ее масса — 0.82, а радиус — 0.76 солнечных. Отношение радиусов планеты и звезды равно 0.172. Благодаря этим особенностям и близости система с планетой HD 189733 b относится к удобным объектам исследований. Глубина ослабления потока от звезды при транзитах HD 189733 b рекордная (3%), причем транзиты были сначала обнаружены спектроскопически (по эффекту смещения спектральных линий при пересечении лимба). Период планеты всего 2.219 сут, большая полуось орбиты — 0.0313 а.е.; масса составляет 1.15 массы Юпитера, а радиус превышает радиус Юпитера в 1.26 раз. Средняя плотность  $0.75 \text{ г/см}^3$ , выше плотности Сатурна. Таким образом, масса и радиус HD 189733 b наибольшие из всех перечисленных.

История низкоорбитальных «горячих юпитеров» неизбежно предполагает миграцию их орбит — с высоких на околозвездные. Они не могли образоваться на своих наблюдаемых сегодня

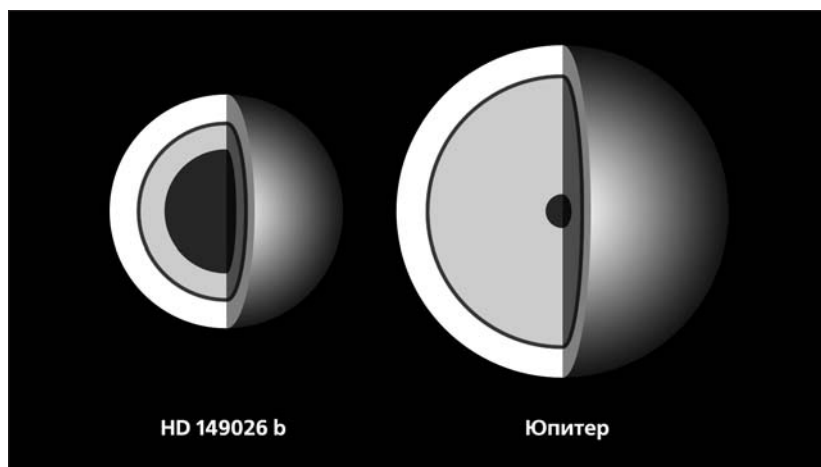


Рис.13. Предполагаемое внутреннее строение экзопланеты HD 149026 b в сравнении с Юпитером. Высокая средняя плотность (вероятно, около  $1.2 \text{ г/см}^3$ ) указывает на новый тип короткопериодических экзопланет.

орбитах. Ниже мы перейдем к этим противоречиям, но сначала следует рассказать о наиболее интересных последних открытиях — экзопланетах, чем-то похожих на Землю.

### «Суперземли» — экзопланеты малой массы

Поиск экзопланет, подобных Земле по массе и орбитальному расстоянию, наземными средствами с помощью МЛС пока невыполним. Но именно такие планеты вызывают наибольший интерес. Нет идеи, более популярной, чем поиск жизни в других мирах. Еще философы античности в своих догадках об устройстве Вселенной рассуждали о возможности обитания живых существ вне Земли. Обитаемость планет считалась почти очевидной. Ныне поиск жизни на планетах, пусть даже на самом примитивном уровне, активно обсуждается учеными. В этом отношении большие надежды вызывают два исследовательских аппарата на околоземной орбите — «CoRot», который работает уже два года и «KEPLER», запущенный в марте 2009 г. Оба предназначены для поиска экзопланет, причем «KEPLER» должен исследовать до

100 тыс. звезд. С помощью аппарата «CoRot» в 2007 и 2008 гг. изучались два участка неба по 4 кв. градуса, в направлениях центра и антицентра Галактики. Обнаружены 46 экзопланет с транзитами.

Главная и наиболее интересная находка — экзопланета CoRoT-7b, первая планета малой массы с транзитами, которые позволили достаточно точно определить ее свойства. Родительская звезда — оранжевая K0V, 0.93 массы Солнца, с эффективной температурой 5275 К. Звезда далекая, на расстоянии около 150 пк, к тому же с неспокойной фотосферой, что ограничивает возможность МЛС. Поэтому результаты были получены объединением наблюдений транзитов с борта «CoRot» со спектральными наблюдениями на спектрографе HARPS (телескоп 3.5 м, европейская обсерватория La Silla в Чили). В системе звезды обнаружены две планеты, CoRoT-7b и 7c. Обе находятся на очень низких орбитах, 0.0172 и 0.046 а.е. Масса CoRoT-7b в 4.8 раз, а радиус — в 1.7 раз больше массы и радиуса Земли, что дает среднюю плотность  $5.6 \text{ г/см}^3$ , очень близкую к средней плотности Земли ( $5.52 \text{ г/см}^3$ ). Ускорение свободного падения всего на 66% боль-

ше земного, но на этом сходство «суперземли» CoRoT-7b с Землей заканчивается: из-за низкой орбиты и высокой светимости родительской звезды температура поверхности планеты достигает 2000 К, что исключает какие-либо надежды на присутствие биосферы. Орбитальный период необычайно короткий — менее суток, всего 20.4 ч. Период второй экзопланеты, CoRoT-7c, — 3.7 сут, а масса, по первым оценкам, 8.4 массы Земли.

Еще до открытия CoRoT-7b о другой «суперземле» сообщили М.Майор и его швейцарские коллеги. Коллектив Майора, который открыл первую экзопланету 51 Peg b, настолько усовершенствовал метод лучевых скоростей, что у небольшой звезды позднего класса G1 581 им удалось обнаружить четыре экзопланеты с орбитальными периодами от 3.15 до 67 сут и массами, соответственно, от 1.94 до 7 масс Земли. Главная особенность эксперимента, обеспечившая успех, заключается в малой массе звезды, благодаря чему кеплеровские орбита и скорость звезды значительно возрастают.

Д.Шарбонэ с международным коллективом (в который также входит Майор) пошел еще дальше. В окрестностях Солнца были выбраны 2000 небольших (карликовых) звезд (с массами от 0.10 до 0.35 солнечной), которые в поисках транзитов систематически наблюдались автоматизированной системой из восьми небольших телескопов. Идея в том, что у небольшой звезды транзиты планеты должны создавать более глубокое ослабление света. Так и оказалось. У старой карликовой звезды GJ 1214 (удаленность от Солнца 13 пк) с диаметром 0.21 солнечного обнаружены транзиты длительностью 52 мин, повторяющиеся каждые 1.58 сут, достаточно глубокие, чтобы определить свойства планеты. Свойства GJ 1214 b оказались новым экзопланетным сюрпризом. Ее масса оценена как 6.55 массы

Земли, а радиус — 2.68 радиуса Земли, что дает среднюю плотность всего 1.87 г/см<sup>3</sup>. Ускорение свободного падения на поверхности 91% земного. Родительская звезда сравнительно холодная (3030 К), поэтому эффективная температура планеты GJ 1214 b тоже невысока и в зависимости от альбедо оценивается в 393—541 К, несмотря на то, что орбита планеты проходит всего в 2 млн км над поверхностью звезды.

Массы планет CoRoT-7b и GJ 1214 b близки, но сравнение плотности последней с теоретическими моделями указывает на совсем другую природу GJ 1214 b. Исходный материал протопланетных дисков более или менее сходен по составу. Диски состоят из газовой смеси водорода и гелия и включают 1—2% твердого вещества — соединений или конденсатов углерода, азота, кислорода, кремния, магния, железа и никеля. Такой состав характерен почти для всех звезд нашей Галактики, в том числе Солнца. Относительные содержания элементов различаются не более чем в два раза. В образующихся планетах земного типа кислород связывается в горных породах, но значительная его часть уходит на образование воды. Поэтому, исходя из состава газовой пылевой протопланетных дисков и молодых звезд, плотности 1.9 г/см<sup>3</sup> более всего соответствует комбинация скальных пород и металлов в ядре, большого количества воды и протяженной водородно-гелиевой атмосферы, на которую приходится около 0.05% массы планеты. Большая высота атмосферы отчасти снижает среднюю плотность планеты. Вероятно, GJ 1214 b — это планета с водородно-гелиевой атмосферой и глобальным океаном над металло-силикатными ядром и мантией. По характеристикам GJ 1214 b находится где-то между планетой-океаном (состоящей на 75% из H<sub>2</sub>O, на 22% из Si и на 3% из Fe, сосредоточенного в ядре планеты) и пла-

нетой типа Земли (67.5% Si в мантии и 32.5% Fe в ядре планеты). Такой мир немного напоминает Нептун, но очень мало похож на Землю и вряд ли может рассматриваться в качестве возможного места обитания жизни, тем более что даже минимальную для него температуру 393 К трудно считать комфортной для аминокислотной формы жизни. Давление у поверхности океана при такой температуре (120°C) должно составлять 2 бар, атмосфера будет насыщена водяным паром. Если температура близка к верхней оценке (268°C), вода все еще остается жидкой (критическая точка воды 374°C), но давление атмосферы, насыщенной водяным паром, должно достигать 55 бар.

Открытие планет типа «суперземля» неизбежно затрагивает наши представления о том, где во Вселенной могла бы зародиться жизнь. Так называемые «зоны обитаемости», пригодные для существования аминокислотной формы жизни, в звездных системах узки. На рис.14 показаны положения комфортных зон для Солнечной системы и для системы G1 581. У нас такая зона фактически включает только Землю и лишь слегка задевает Марс. Но сравнение с G1 581 показывает, что положение не так уж безнадежно. Уже первые экзопланеты с малой массой, «суперземли», демонстрируют, что разнообразие их физических свойств несколько не меньше, чем у «горячих юпитеров».

## О противоречиях классической аккреционной теории

Планеты Солнечной системы, как и планеты других звезд, представляют собой сложный конгломерат твердого и жидкого вещества, нейтрального газа и плазмы, с захватываемыми из окружающего пространства частицами пыли и заряженными

частицами высоких энергий. Для поиска ответов на вопрос, каким образом сформировалась Солнечная система, теория располагает сегодня новыми экспериментальными данными, значительная часть которых получена после открытия планет у других звезд. Теория образования звезд и планетных дисков была разработана давно, но теперь, благодаря успехам теоретической астрофизики и наблюдательной астрономии, процессы формирования планетных систем становятся более понятными.

Основы аккреционной теории были заложены в XVIII в. работами Э.Сведенборга, И.Канта и П.-С.Лапласа. Позднее, уже в XX в., в нашей стране важный вклад в теорию образования планетных систем внесли О.Ю.Шмидт и его школа из Института физики Земли РАН. Согласно данной концепции, в каком-то фрагменте гигантского межзвездного газовой-пылевого облака частицы начинают концентрироваться вокруг случайного центра гравитации, образуя протосолнечное-протопланетное облако. По мере сжатия облако начинает вращаться и в условиях сохранения углового момента становится плоским. В таком вращающемся диске происходит фрагментация (рис.15), появляются мелкие центры конденсации, затем планетезимали, те, в свою очередь, сталкиваясь и объединяясь, становятся зародышами планет, протопланетами. Затем, в результате множественных столкновений, протопланеты образуют планеты, которые возникают благодаря аккреции вещества из газовой-пылевого диска, окружающего звезду, на образующееся ядро планеты.

В классической аккреционной теории предполагалось, что образование планет-гигантов происходит в несколько этапов. Во второй половине XX в. общепринятой была двухступенчатая схема образования Юпитера и Сатурна. В схематичном из-

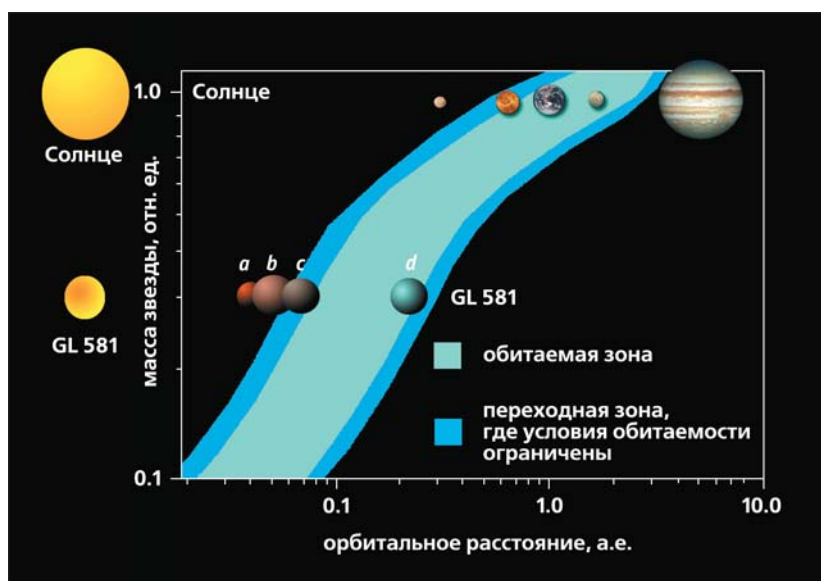


Рис.14. Расположение зоны обитаемости в зависимости от типа звезды, комфортной для жизни аминокислотно-нуклеино-кислотного типа. (Из работы [7].)

ложении — это длительная, до  $10^8$  лет, столкновительная аккреция субмикронных частиц твердого материала во внутренней части протопланетного диска, которые превращались сначала в частицы микронного размера, затем в комочки размерами в несколько сантиметров, и их последующее слияние с образованием километровых планетезималей и более крупных планетных зародышей. Накопленные в протопланетном диске

планетезимали объединялись в столкновениях и создавали ядро будущей планеты-гиганта с массой от 10 до 25 масс Земли (в более поздних работах произведена «уценка» массы ядра до 5—10 и даже до 2—3 масс Земли). Затем происходил более быстрый захват ядром вещества газовой фазы (главным образом водорода) из протопланетного диска. Расчеты неизменно показывали, что на весь процесс должно было уходить до  $10^8$  лет.

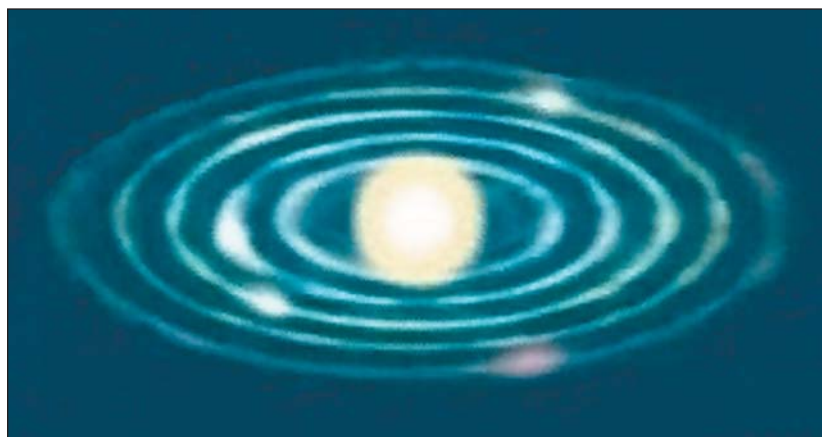


Рис.15. Формирование Солнечной системы согласно ранним представлениям аккреционной теории (XX в.). Газово-пылевое облако вращается и постепенно уплощается, превращаясь в тонкий диск вокруг формирующегося в центре Солнца. Образуются кольца, из которых затем формируются планеты.



Однако выполненные в конце XX в. многочисленные наблюдения протопланетных дисков в стадии формирования звездно-планетных систем свидетельствуют о весьма ограниченном времени исчезновения водорода и гелия из диска. Они удерживаются там менее  $10^7$ , а в ряде случаев даже менее  $10^6$  лет. Естественно, это противоречит известному водородному (в основном) составу атмосфер Юпитера и Сатурна. На газообразную составляющую приходится 98% исходной массы протопланетных дисков. Проводились новые расчеты, где учитывались новые эффекты самоускоряющегося роста протопланеты. Но время все еще оставалось слишком большим, около  $10^7$  лет, что противоречит наблюдательным данным. Последующие наблюдения показали, что на завершение диссипации (потери) газообразной составляющей уходит в среднем 3 млн лет. После этого газового мате-

риала для формирования планеты практически не остается.

Классическая схема встречается также с большими трудностями при попытках объяснить распределение углового момента в Солнечной системе. Парадоксальный факт — низкая величина углового момента Солнца — был известен давно. Убедительных объяснений ему теория предложить не смогла, что вызвало известный скепсис в отношении теории. Проблема до конца не решена и сегодня, хотя учет магнитогидродинамического взаимодействия звезды и плазмы потери углового момента как-то объясняет.

Когда стали известны внесолнечные планеты, выяснилось, что классическая схема не может объяснить происхождение их сильно вытянутых орбит. Объяснить приливными эффектами круговую орбиту Юпитера также не удается.

С накоплением экспериментальных данных разрабатывае-

мые теории все более усложнялись. Процессы образования планет оказались значительно сложнее начальных стадий образования самих звезд. Но в самых общих своих чертах схема аккреционной теории наблюдениями подтверждается. Обнаружено около 150 протопланетных дисков, дающих представление о том, как выглядела протосолнечная туманность 5 млрд лет назад (рис.16). Физика протозвезд и молодых звезд сложна и включает ряд не вполне понятных процессов. Часто наблюдаются так называемые «джеты», полярные выбросы, которые можно видеть на рис.16. Важную роль в образовании протопланет играет турбулентность среды в диске. Дальнейшее исследование протопланетных дисков обнажало все новые противоречия с аккреционной теорией.

В конце XX в. А.Босс стал развивать гипотезу гравитационной неустойчивости [8], основная идея которой была впервые предложена Г.Койпером еще в 1951 г. Согласно этой гипотезе, возникающие в протопланетном диске неустойчивости могут вызвать гравитационный коллапс, способный образовать планету всего за 10—50 тыс. лет. Концепция активно развивается, но встречается с трудностями и серьезной критикой. Например, предполагается, что к быстрому возникновению масштабной конденсации приводят локальные гравитационные неустойчивости и турбулентность в протопланетном диске. Однако они в такой же мере способны и разрушить зарождающуюся конденсацию.

Аккреционная теория была более разработанной, но и ее радикальная ревизия стала неизбежной, прежде всего в отношении временной шкалы явлений. В результате серьезного пересмотра теории стало понятно, что именно вода, другие летучие вещества и так называемая «линия льдов» (или «линия снега») относятся к важнейшим

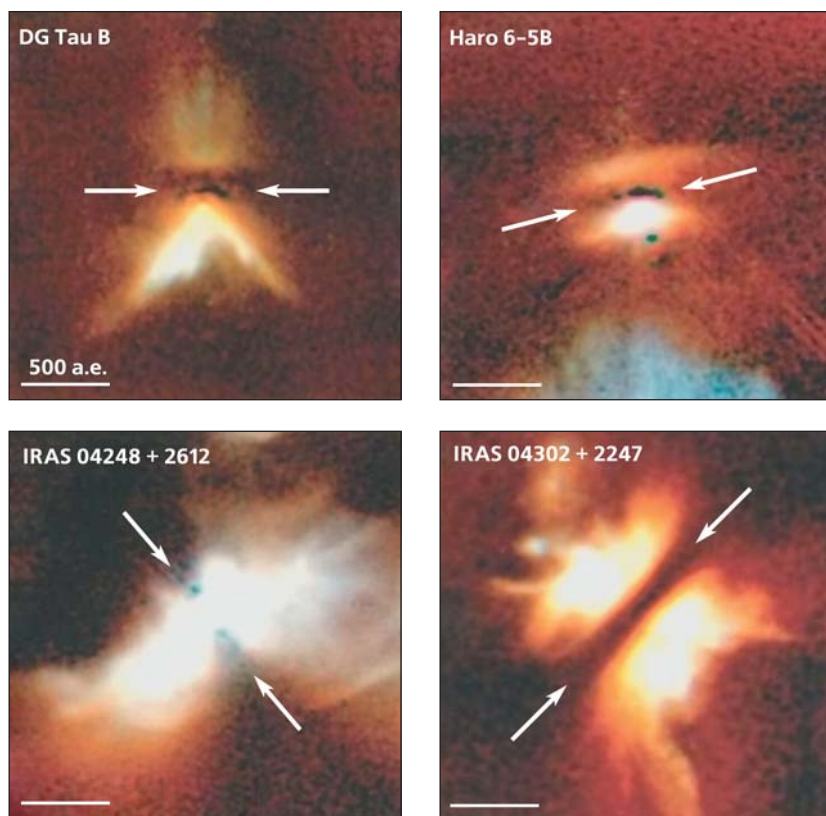


Рис.16. Газово-пылевые диски вокруг молодых звезд типа Т-Тельца.

факторам формирования будущей планетной системы. Планеты формируются под одновременным действием противоположных факторов, что делает ход их рождения непрогнозируемым. Некоторые физические процессы повторяются последовательно, но с разными результатами. Поэтому новую теорию иногда называют теорией последовательной аккреции. Вероятно, именно запутанность процессов приводит к многообразию найденных 400 экзопланет [9].

### Как идет последовательная аккреция

Новая, значительно усложненная аккреционная теория [10] обратила более пристальное внимание на определяющую роль последовательности происходящих процессов, последовательности, которая в какой-то мере была известна, но недооценивались исследователями. Оказалось, что фактически одни и те же процессы отгонки, конденсации и фазовых переходов летучих, которые и составляют чередующиеся этапы формирования планетной системы, последовательно повторяясь много раз, приводят к различным результатам. Феномен чрезвычайно сложен и критичен к окружающим условиям. По-видимому, именно это обстоятельство приводит к тому, что среди обнаруженных внесолнечных планет трудно найти похожие.

Согласно наиболее развитым представлениям, последовательная аккреция имеет следующие особенности. Конденсация массивного межзвездного газопылевого облака происходит достаточно быстро; за время от 150 тысяч до нескольких миллионов лет образуется группа молодых звезд разных масс. Во многих случаях сохраняется взаимное влияние звезд. Вокруг формирующейся звезды возникает протопланетное облако из остаточного материала, благо-

даря вращению приобретающее форму диска. Пыль составляет всего 1–2 % массы облака, остальное — водород (около 90%) и гелий. Пылевая составляющая представляет собой частички субмикронных размеров неправильной формы. Сталкиваясь, частицы могут как объединяться, так и разрушаться. Но с формированием звезды в этот процесс включаются новые факторы. Под действием усиливающейся радиации молодой звезды начинается испарение летучих (воды и включений летучих в силикатных частицах) из внутренней части диска. Значительная часть диска экранирована пылевой средой от нагрева прямой радиацией. Однако разогретая среда переизлучает поглощенную энергию в инфракрасном диапазоне, где диск достаточно прозрачен, и доносит таким образом энергию до внутренних затененных областей, разогревая их до высокой температуры. Происходит быстрая отгонка летучих — их вытеснение из ближних к звезде областей (из правой части рис.17). Но на периферии внутренней зоны температура уже недостаточна для испарения летучих. На границе конденсации летучих, прежде всего, воды, возникает линия льдов (на рисунке — АВ), на которой и за внешней стороной которой происходит концентрация колоссальных масс протопланетного материала. Компьютерное моделирование показывает, что небольшая случайная конденсация может породить в диске короткоживущие волны и кольца плотности. Судя по изображениям протопланетных дисков, внешние пределы зоны конденсации могут отстоять на сотни астрономических единиц (рис.18). Летучие в газовой фазе конденсируются на пылинках, размеры которых постепенно увеличиваются в сотни и тысячи раз. Главные события происходят вблизи линии льдов. Вначале почти вся масса обращающегося вокруг звезды молодого протопланетного облака

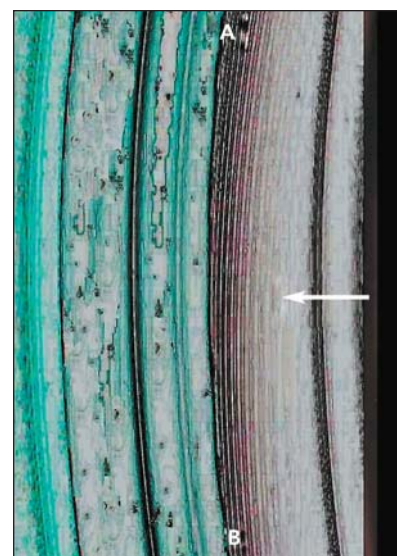


Рис.17. Отгонка летучих от звезды (правая часть рисунка) за линию льдов АВ. Случайные уплотнения создают короткоживущие кольца, разрывы и волны в газопылевом диске.

приходится на газ, плотность которого убывает с расстоянием от звезды. Вблизи линии льдов единственный объем газа находится под сложным влиянием гравитации звезды и самого облака, давления газовой среды и центробежных сил. В результате притока газа с периферии у линии льдов орбитальная скорость газа и захваченных частиц оказыва-



Рис.18. Звезда HD 141569, наблюдатели Б.Смит и Дж.Шнайдер, 1999 г. На снимке зона радиусом 2—4 а.е., практически свободная от летучих, охватывает черный кружок, которым закрыта сама звезда.

ется меньше кеплеровской. Достаточно крупные частицы, более 1 мм, со скоростью меньше кеплеровской выпадают к звезде из-за торможения в газовой среде. Мигрируя во внутренние области относительно линии льдов, они нагреваются, конденсаты плавятся и быстро слипаются. Образуются планетезимали, заготовки материала будущих планет, достигающие километровых размеров. На их образование уходит примерно 1 млн лет. Вначале рост их массы происходит при случайных столкновениях. Но чем больше становятся планетезимали, тем более сильной гравитацией они обладают и тем быстрее они поглощают своих соседей небольшой массы. Так возникают тела, которые можно назвать зародышами планет. Они обладают сравними массами и перехватывают оставшиеся планетезимали из узкой полосы вдоль своей орбиты. Когда большая часть планетозималей поглощена, рост зародыша прекращается.

Одновременно на самой критической линии льдов происходят другие важные события. Здесь возникает скачок давления испарившейся газовой фазы, орбитальная скорость газа возрастает, достигает и опережает кеплеровскую, и газ уже не тормозит, а ускоряет частицы. В результате миграция к звезде основной массы частиц останавливается. Но из дальней периферии диска миграция продолжается, и у линии льдов скапливается большая масса материала, ожидающего начала следующей стадии образования планетной системы.

Планетезимали очень многочисленны, счет идет на многие сотни миллионов или даже до миллиарда; в результате множественных столкновений они образуют тела, достигающие размеров Луны и более, которые захватывают остающийся материал и подавляют рост соседей. После достижения нескольких процентов земной массы рост протопланет огра-

ничивается из-за гравитационных взаимодействий с другими телами, а часть тел в таких взаимодействиях вообще выбрасывается из формирующейся системы в межзвездное пространство. Масса до 0.05–0.10 массы Земли на ее орбите может быть накоплена за 100 тысяч лет и ограничивается этой величиной, так как материала здесь мало. Чем дальше от звезды, тем медленнее рост. Одновременно с диссипацией из диска водорода и гелия система обедняется мелкими частицами, которые снижаются по пологой спирали и достигают Солнца благодаря эффекту Пойнтинга—Робертсона\* (частичная потеря орбитального момента частицы при поглощении радиации, излучаемой звездой).

Чтобы достичь четырех масс Земли, телу на расстоянии, соответствующем современной орбите Юпитера, требовалось несколько миллионов лет. Если линия льдов проходила там же, процесс шел быстрее. Протопланетное облако тогда еще не потеряло основные запасы газа, и происходил захват газа ядром будущей планеты. Захват чрезвычайно критичен к массе ядра, к составу газа, наличию тяжелых элементов и ряду других факторов. Протопланетных тел — кандидатов на роль ядра будущей планеты — оказывается много, но в качестве ядра они редко выживают. На выживших, по мере того как холодное массивное тело сжимается и разогревается, оседают твердые частицы, увеличивая массу ядра. Ес-

\* Эффект Пойнтинга—Робертсона — процесс, благодаря которому в Солнечной системе пылевые частицы медленно падают по спирали в сторону Солнца. При поглощении солнечного излучения энергия (т.е. масса) частицы увеличивается при неизменной тангенциальной составляющей импульса, поэтому скорость частицы уменьшается. Эффект был впервые описан в 1903 г. Дж.Пойнтингом, который объяснил его в рамках эфирной теории электромагнетизма. Правильную трактовку эффекта с точки зрения общей теории относительности дал Г.Робертсон в 1937 г.

ли газа еще много, происходит интенсивное выделение тепла, затрудняющее формирование планеты. Такое же ограничение известно при образовании звезд. Если теплоотвод неэффективен, газ будет потерян и планета-гигант не возникнет. Около миллиона лет газ накапливается медленно, но затем половина всей газовой массы захватывается всего за 1 тыс. лет. В этот период родившийся гигант излучает колоссальные потоки радиации. В Солнечной системе следы этих событий можно видеть в наше время на поверхности некоторых спутников Юпитера.

Среди главных факторов, ограничивающих появление гиганта, — миграция. Миграция первого рода возникает при гравитационном взаимодействии формирующейся планеты с рассредоточенной массой окружающей среды, как это показано в упрощенном виде на рис.19. В прилегающих частях диска движение формирующейся планеты вызывает появление волн, причем в однородной среде их влияние взаимно компенсируется. Но среда неоднородна, ее распределенная масса за орбитой планеты (слева на рис.19) значительно превышает массу внутри орбиты (справа). В результате возникает тормо-

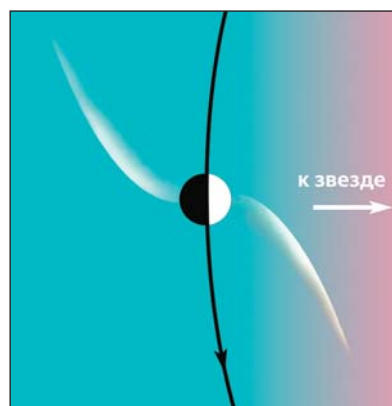


Рис.19. Возникновение миграции при гравитационном взаимодействии формирующейся планеты с волнами в окружающей среде. (Адаптировано из работы [11]).

жение планеты, слегка смещающее ее орбиту к звезде. За 1 млн лет орбита протопланеты может снизиться на несколько астрономических единиц, вплоть до линии льдов, где миграция останавливается под действием ускоряющего движения газа, так как здесь орбитальная скорость газа превышает кеплеровскую. Картина всех сопутствующих процессов усложняется тем, что их временные шкалы примерно совпадают, таким же оказывается и характерное время потери диском газовой составляющей.

Формирующаяся планета-гигант черпает материал из зоны своей орбиты, создавая разрыв в диске (рис.20). Но начиная с какого-то момента ее рост останавливается, как и в случае планетезималей. Ключевым механизмом снова оказывается гравитационное взаимодействие планеты с газом окружающей среды. Однако на этом этапе определяющей становится роль планеты, масса которой уже достигла массы Юпитера (0.001 массы звезды солнечного типа). Взаимодействие планеты с газом у разрыва внутри орбиты (справа на рис.20) замедляет обращение газовых масс, а на внешней стороне разрыва их ускоряет. Оба случая не способствуют встрече газа с планетой, и ее рост останавливается.

В некоторых случаях возникает более сложное явление, миграция второго рода. В прилегающих областях диска возникают турбулентные зоны, из которых турбулизированный газ все же может попасть в зону разрыва. Его гравитационное взаимодействие с планетой вызывает очень медленную потерю орбитального момента планеты и медленное снижение орбиты планеты.

Через гравитационное взаимодействие сформировавшийся гигант очищает зону астероидов первого поколения и значительно ускоряет образование последующих планет-гигантов, если потерян еще не весь газ. С задержкой на несколько мил-

лионов лет формировался Сатурн. Газа оставалось уже немного, поэтому масса Сатурна в 3.3 раза меньше массы Юпитера. Но без Юпитера процесс длился бы дольше, а масса Сатурна была бы еще меньше. Вероятно, в таких условиях формировались Уран и Нептун, хотя не совсем ясно, где это происходило, так как эти планеты, скорее всего, мигрировали с начальных орбит вблизи Сатурна. Имеются свидетельства, что начальное положение орбит Урана и Нептуна было обратным современному. Образование их затянулось, ядра достигли 10–20 масс Земли, а газа оставалось мало и хватило всего на 1–2 земных массы в каждом случае. Относить Уран и Нептун к группе планет-гигантов не приходится, их выделяют в особую категорию — ледяных гигантов, масса которых менее 0.19 массы Юпитера. Это критическая величина, когда масса становится недостаточной для металлизации водорода и образования из него внешней оболочки ядра. Такая оболочка определяет многие свойства Юпитера и Сатурна. В целом формирование упо-

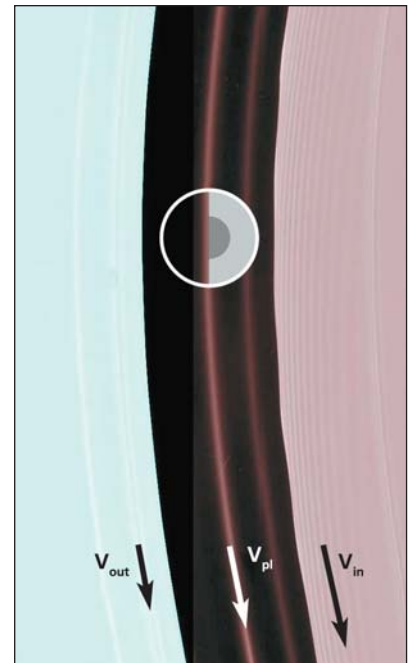


Рис.20. Механизм ограничения роста планеты-гиганта.

мянутых четырех планет заняло значительно меньше 10 млн лет. Дальнейшие события в зоне гигантов развивались медленнее. Образовавшиеся Уран и Нептун выбрасывали остающиеся планетезимали в зону пояса Койпера

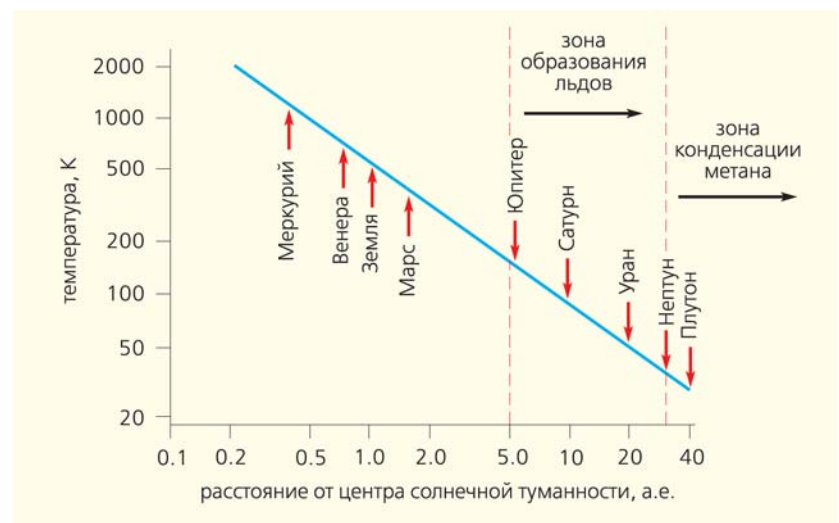


Рис.21. Зависимость равновесной температуры тела от расстояния до Солнца при формировании Солнечной системы. Вокруг звезды находилась зона радиусом 2—4 а.е., свободная от летучих. Приблизительно на уровне орбиты Юпитера (5 а.е.) находилась линия льда — граница, за которой вода (лед) и другие летучие конденсируются. Вблизи орбиты Нептуна (30 а.е.) располагалась еще одна особая зона — граница конденсации метана.

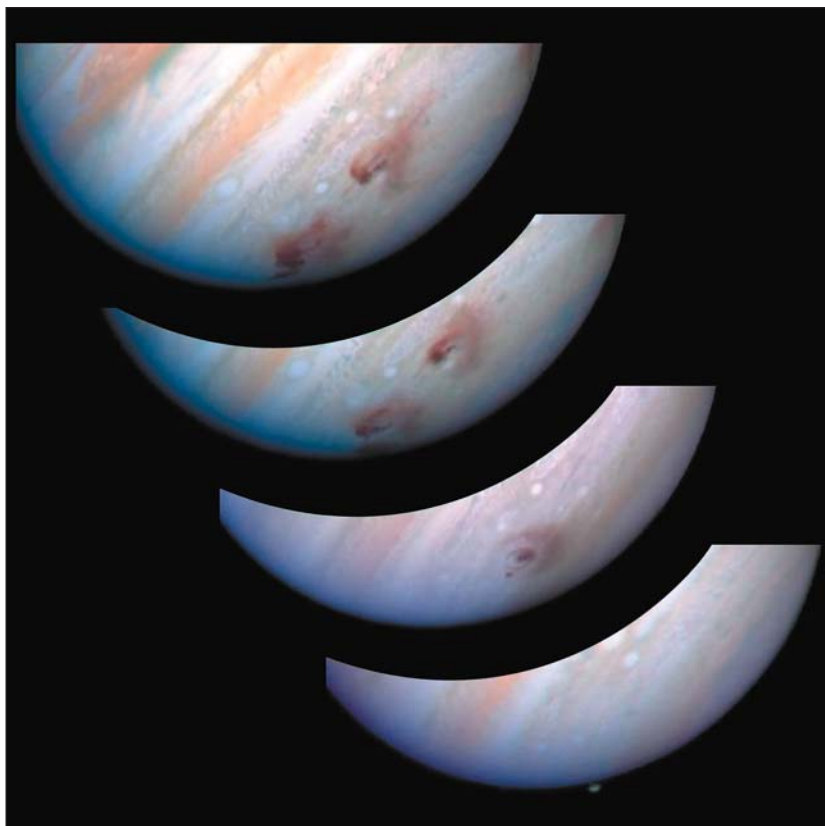


Рис.22. Космическая катастрофа у Юпитера в 1994 г. Ее масштабы были примерно такими же, как у катастрофы, произошедшей 65 млн лет назад на Земле. Последовательные снимки столкновений фрагментов кометы Шумейкеров—Леви с Юпитером получены с помощью широкоугольной планетной камеры космического телескопа «Hubble» (NASA).

и отчасти — к Солнцу, а Юпитер отправлял их в Облако Оорта. История возникновения малых тел Солнечной системы — комет, астероидов и малых спутников — не менее сложна [12].

Теория последовательной аккреции предполагает, что во внесолнечных планетных системах планеты типа Земли должны быть более распространены, чем планеты-гиганты. Пока теория может опираться лишь на данные о Солнечной системе. Условия формирования планет земной группы, орбиты которых расположены внутри линии льдов, и четырех внешних планет, находящихся за ней, сильно различаются. Четыре планеты земной группы — Меркурий, Венера, Земля и Марс — сформировались в основном из веществ с высокой

температурой испарения, таких как железо и силикатные породы. Ближе к Солнцу, где плотность солнечной радиации очень высока (рис.21), частицы нагревались и лед и другие летучие вещества испарялись, образуя почти свободную от пыли прозрачную зону радиусом до 5 а.е., известную по протопланетным дискам.

В обедненной зоне внутри линии льдов протопланеты могли вырасти лишь до 0.1 земной массы, что немногим больше массы Меркурия. Для того чтобы их масса продолжала расти дальше, протопланеты должны были перейти на вытянутые пересекающиеся орбиты, допускающие столкновения. Такими орбиты могли стать под возмущающим действием планеты-гиганта. Следовательно,

образование первой планеты-гиганта, в первые 2—3 млн лет, должно было предшествовать этим процессам. Если орбиты компланарны и не связаны резонансными соотношениями, объединение таких тел при столкновениях — только вопрос времени. По некоторым оценкам теории, вскоре после возникновения Юпитера образовался обновленный пояс астероидов (в первые 4 млн лет), Марс (10 млн лет), затем Земля (30—50 млн лет). Гораздо труднее объяснить, как новые орбиты, возникшие после столкновений, стали круговыми. Положение орбит планет земного типа менялось мало, планеты не мигрировали. В формировании орбит могли сыграть свою роль оставшиеся планетезимали или остаточный газ.

После того как протопланеты зоны Земли сформировались, остатки вещества протопланетного диска удалялись из внутренних областей Солнечной системы благодаря гравитационному рассеянию при взаимодействии с уже существовавшей планетой-гигантом, под давлением солнечного излучения, в результате эффекта Пойнтинга—Робертсона и просто поглощались протопланетами в столкновениях. Гравитационное взаимодействие приводило к выбрасыванию тел на периферию системы и отчасти на Солнце.

Может показаться, что изложенная схема образования планетной системы неправдоподобно сложна. На самом деле она все еще недостаточно сложна, чтобы объяснить все особенности и многообразие путей формирования планетных систем.

Иногда случающиеся в наше время столкновения малых тел с планетами можно рассматривать как затухающее эхо интенсивных столкновительных процессов, происходивших в ранней истории формирования Солнечной системы. Пример такой недавней катастрофы — столкновение кометы Шумейке-

ров—Леви с Юпитером в 1994 г. (рис.22). Около 20 обломков ядра кометы размерами до 10 км один за другим врезались в облачную поверхность Юпитера со скоростью 60 км/с. По выделяемой энергии взрывы были эквивалентны миллионам мегатонных водородных бомб. Широко известное событие примерно таких же масштабов произошло на Земле 65 млн лет назад, когда погибло 80% всех обитавших на Земле видов. Такую тяжелую «метеоритную бомбардировку» 3.9–3.8 млрд лет назад планеты переживали постоянно.

Наиболее вероятной его причиной могло быть прохождение системой Юпитер—Сатурн орбитального резонанса 1:2.

\* \* \*

Планеты — конечная стадия процесса аккреции вещества, окружавшего ядро протосолнечного диска. В грандиозных масштабах Вселенной они занимают скромное место. Вместе с тем развитие представлений современной теории происхождения планетных систем и физики планетных тел показывает, что планеты относятся к самым

сложным и наиболее разнообразным объектам астрофизики. Только на планетах так тесно связаны астрономические явления, химические, физические, геологические и биологические процессы. С природой планет биофизика связывает проблему происхождения аминокислотной формы жизни (единственной формы жизни, известной сегодня). Парадоксальным образом, происхождение планет, как и происхождение жизни, оказалось связанным с физическими циклами фазовых переходов воды. ■

## Литература

6. *Bouchy F., Udry S., Mayor M. et al.* ELODIE Metallicity-Biased Search for Transiting Hot Jupiters, II. A Very Hot Jupiter Transiting the Bright K Star HD189733 // *Astronomy & Astrophysics*. 2008. V.5.
7. *Selsis F., Kasting J.F., Levrard B. et al.* Habitable Planets Around the Star Gliese 581? // *Astronomy & Astrophysics*. 2007. V.476. P.1373.
8. *Boss A.P.* Rapid Formation of Outer Giant Planets by Disk Instability // *Astrophysical Journal*. 2004. V.599. P.577—581.
9. *Schneider J.* Extrasolar Planets Encyclopaedia. 2009 // <http://exoplanet.eu/>
10. *Planet Formation: Theory, Observation, and Experiments* / Eds H.Klahr, W.Brandner. Cambridge, 2006.
11. *Lin D.N.C.* Formation of Planets and Planetary Systems // *Planetary Systems: the Long View: 9th Rencontres de Blois, June 22—28, 1997, France* / Eds L.M.Celnikier, J.Travn Thanh Van. Paris, 1998. P.391.
12. *Маров М.Я.* Малые тела Солнечной системы и некоторые проблемы космогонии // *УФН*. 2005. Т.175. С.668—678.

# Позднемеловой климат Сибири: геологические данные и компьютерные модели

А.Б.Герман

**К**лиматическая система нашей планеты динамична, находится в постоянном развитии. Геологам и палеоклиматологам хорошо известно, что климат менялся (и иногда очень значительно) в течение долгой истории Земли. Судя по геологическим данным, нынешний климат аномально холодный: на Земле было теплее, чем сейчас, в течение 85% времени за последние 570 млн лет — тот отрезок, о котором ученые имеют достоверные данные. Теплый и холодный климаты неоднократно сменяли друг друга, вызывая вымирание одних групп организмов, расцвет других, миграции фаун и флор к полюсам при потеплении и в сторону экватора при похолодании. Все эти процессы неплохо задокументированы в геологической летописи, и мы умеем уверенно их распознавать.

За последнее столетие мощным фактором, влияющим на климат, стала деятельность человека. Глобальное техногенное потепление и его влияние на биосферу Земли и экономическую деятельность людей все больше и больше тревожат умы не только академических ученых. Знания о климате геологического прошлого, особенно тех его интервалов, когда он был существенно теплее нынешнего, — бесценный матери-

ал для лучшего понимания того, что ожидает человечество в отдаленном (и не очень отдаленном) будущем.

Особый интерес в этом плане представляет меловой период, или мел, — последний из трех периодов мезозойской эры, начавшийся 145.5 и закончившийся 65.5 млн лет назад. Мел подразделяется на две половины, называемые раннемеловой и позднемеловой эпохами, или ранним и поздним мелом. Граница между ними приходится приблизительно на отметку 99.6 млн лет назад. В меловой период глобальный климат Земли был необычно теплым (рис.1). Об этом свидетельствуют многочисленные данные о распределении горных пород, образовывавшихся в определенных климатических условиях, о палеотемпературах, рассчиты-

*«Мы хоть понимаем, с чем мы имеем дело. И если что-нибудь не знаем, то уж не знаем по-научному».*

Ю.Домбровский.

«Факультет ненужных вещей»



**Алексей Борисович Герман**, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией палеофлористики Геологического института РАН. Область научных интересов — морфология и систематика древних растений, палеофлористика, фитоистратиграфия и палеоклиматология мелового периода.

ваемых по составу изотопов в скелетных остатках древних организмов, и о распределении на поверхности Земли самих этих организмов — животных и растений (рис.2). Особенно теплым, гораздо теплее нынешнего, был в мелу климат высоких широт Северного и Южного полушарий. В то время ледовые полярные шапки, если и существовали, были значительно меньше современных, теплолюбивые животные и растения проникали далеко в высокие широты, а леса распространялись вплоть до 85°с.ш. [1—3].

В этой статье я попытался показать, как результаты изучения древних растений, населявших в позднемеловую эпоху территорию нынешней Центральной Сибири, удалось использовать для оценки точности компьютерных моделей, ко-

которые применяются для прогноза будущих изменений климата Земли. Однако изложим все по порядку.

### Реконструкция древнего климата

Геологические наблюдения (литологические, изотопные, палеонтологические) дают ценные сведения о палеоклиматах Земли. Но большинство из них позволяет лишь качественно оценить древний климат — был он теплым или холодным, влажным или засушливым. Лишь некоторые из методов, имеющихся на вооружении исследователей, — изотопная палеотермометрия и палеоботаника — дают количественные характеристики древнего климата. В палеоботанике широко используется так называемый анализ края листа растений, основанный на количественной корреляции между содержанием в современных флорах видов древесных двудольных растений с цельнокрайними (без краевых зубцов) листьями и среднегодовой температурой произрастания флор. Опираясь на такую корреляцию и зная соотношение в древней флоре видов с цельным и зубчатым краями листа, можно легко вычислить вероятную среднегодовую температуру, при которой она существовала. Однако возникает справедливый вопрос: нельзя ли по морфологии листьев, учитывая не один, а комплекс признаков, рассчитать не один, а целый ряд климатических параметров?

За последние полтора десятилетия такая методика, получившая название CLAMP (сокращенно от Climate-Leaf Analysis Multivariate Program), была разработана. Ее предложил американский палеоботаник Дж.Вулф [4] и значительно усовершенствовали англичанин Р.Спейсер и автор данных строк. Суть ее заключается в выявлении статистической коррелятивной связи между морфологическими при-

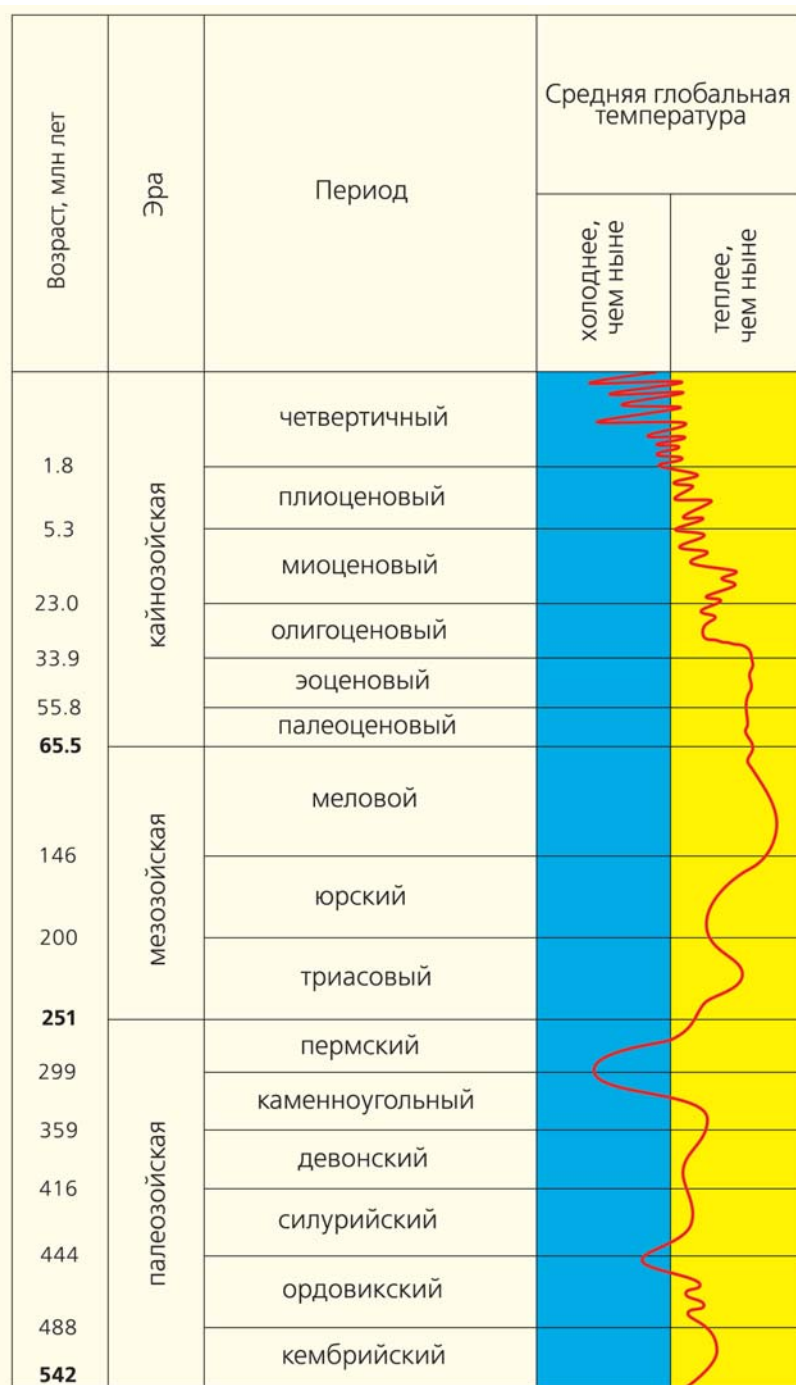


Рис. 1. Кривая относительной глобальной температуры для фанерозоя ([8], с изменениями).

знаками листьев растений и климатическими параметрами. Наземные растения непосредственно взаимодействуют с атмосферой при газо- и водообмене. Чтобы выжить, они вынуждены приспосабливаться, эволюционируя таким образом,

чтобы их морфология соответствовала местным условиям среды. А так как сходные типы климата налагают на растения сходные физические ограничения, различные виды, произрастающие в одинаковых, но разделенных в пространстве и во вре-



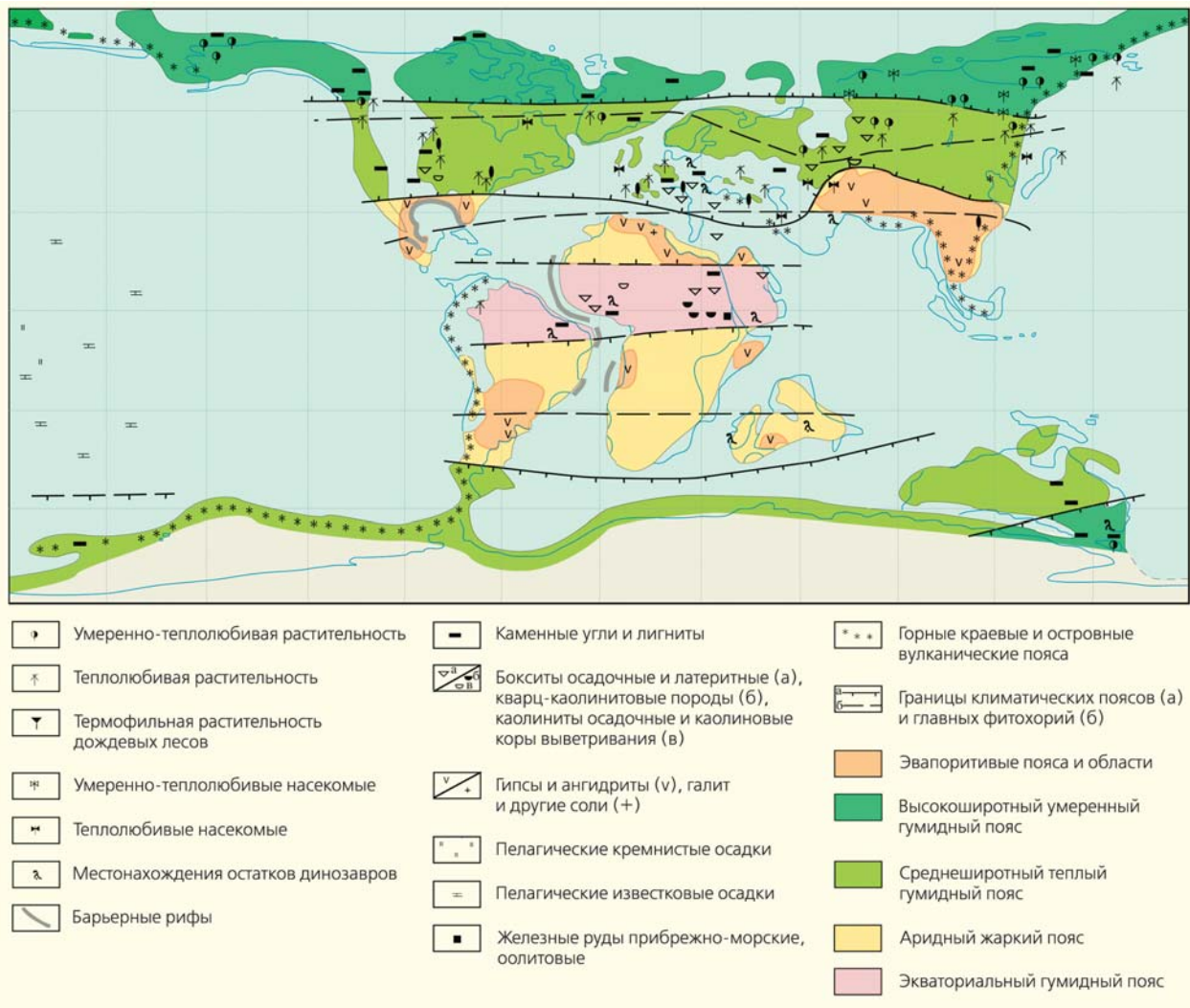


Рис.2. Климатическая зональность в сеноманском веке мелового периода [1].

мени климатах, вырабатывают конвергентные морфологические признаки. Следовательно, строение листьев ископаемых растений можно использовать для характеристики климата прошлого.

CLAMP позволяет по климатическим сигналам, закодированным в морфологии листьев, рассчитать несколько количественных параметров древнего климата. В основе усовершенствованного метода лежит канонический корреспондентный анализ (CANOCO), который устанавливает корреляцию между 31 морфологическим признаком листьев двудольных, описывающим пропорции, форму

и размер листовой пластинки, характер края листа, форму его основания и верхушки, и 11 климатическими параметрами. В результате для анализируемых ископаемых флор удается рассчитать температуру и влажность, которые используются для характеристики современного климата, и при этом количественно же оценивать возможные ошибки: среднегодовую температуру, температуру наиболее теплого и наиболее холодного месяцев, среднее и среднемесячное количество осадков за вегетационный период, количество осадков за три последовательных наиболее влажных и наиболее сухих

месяца, продолжительность вегетационного периода и др. CLAMP, по существу, позволяет получить ответ на вопрос: если бы та или иная ископаемая флора обитала на современной Земле, в каких климатических условиях мы могли бы ее обнаружить?

### Центральная Сибирь в позднем мелу: тепло и влажно

Используя описанный выше метод, мы проанализировали целый ряд (около трех десятков) ископаемых флор Евразии и Северной Америки, возраст кото-

рых от 66 млн лет (конец позднего мела) до 100 млн лет (конец раннего мела). Полученные расчетные палеоклиматические параметры позволяют сделать ряд интересных выводов об особенностях климата мелового периода [5, 6], но наиболее неожиданные из них оказались «закодированы» в ископаемых листьях позднемеловой флоры Центральной Якутии, многочисленные местонахождения которой известны в бассейне р. Вилюй (рис.3). Этот район может служить хорошим примером резко континентального климата. Он характеризуется большим (наибольшим в мире) годичным диапазоном температур (рис.4), достигающих в г.Вилюйске в июле 18°C и опускающихся в январе до -38°C (приведены среднемесячные температуры). Другая особенность данного климата — низкое, около 250 мм/год, количество осадков, сравнимое с количеством осадков в полупустынях и пустынях.

В середине мела и в поздне-меловую эпоху, когда значительные части континентов были покрыты водой, большая часть Сибири находилась выше уровня океана и представляла собой крупный континентальный блок. Ископаемая флора бассейна р.Вилюй сеноманского возраста происходит как раз из центра этого блока (рис.5). Именно там, вдали от морских бассейнов, казалось бы, можно обнаружить свидетельства континентального или даже резко континентального мелового климата. Однако результаты CLAMP-анализа сеноманской (99—94 млн лет назад) флоры р.Вилюй свидетельствуют, что она существовала во влажном теплоумеренном климате без холодных зим [7]: расчетная среднегодовая температура составила  $13.1 \pm 3.5^\circ\text{C}$ , наиболее теплого месяца —  $21.1 \pm 3.6^\circ\text{C}$ , наиболее холодного —  $5.8 \pm 5.1^\circ\text{C}$ , количество осадков за вегетационный период (продолжавшийся, согласно расчетам,  $7.4 \pm 1.7$  мес) —  $827 \pm 632$  мм.



Рис.3. Схематическая геологическая карта Вилюйской впадины ([9], с изменениями).

Естественно, столь неожиданные результаты требовали от нас серьезной проверки. Наши исследования в бассейне р.Вилюй позволили качественно оценить палеоклимат этого района [7]. Палинологический (спорово-пыльцевой) анализ флоры из верхнемеловой тимердякской свиты показал высокое разнообразие позднеме-

ловых спор и пыльцы, причем наиболее многочисленными оказались папоротники и покрытосеменные. Из более чем 170 родов и видов палиноморф, 61 — это споры, 14 — пыльца голосеменных, 10 — пыльца однодольных (включая, по-видимому, два вида пальм, плохo переносающих отрицательную зимнюю температуру) и около 90 — пыльца

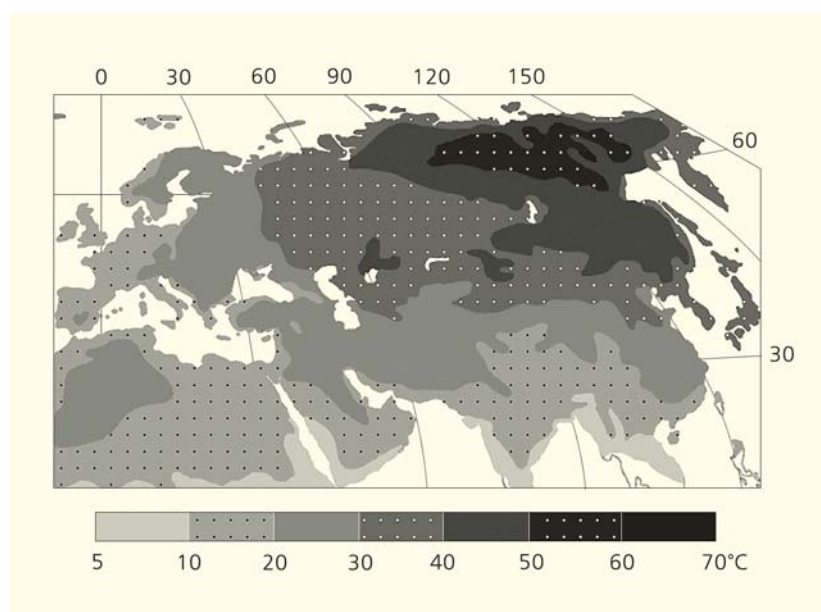


Рис.4. Современная разница температур наиболее теплого и холодного месяцев в году для Евразии. Максимальная разница наблюдается в центральных и восточных районах Сибири ([10], с изменениями).

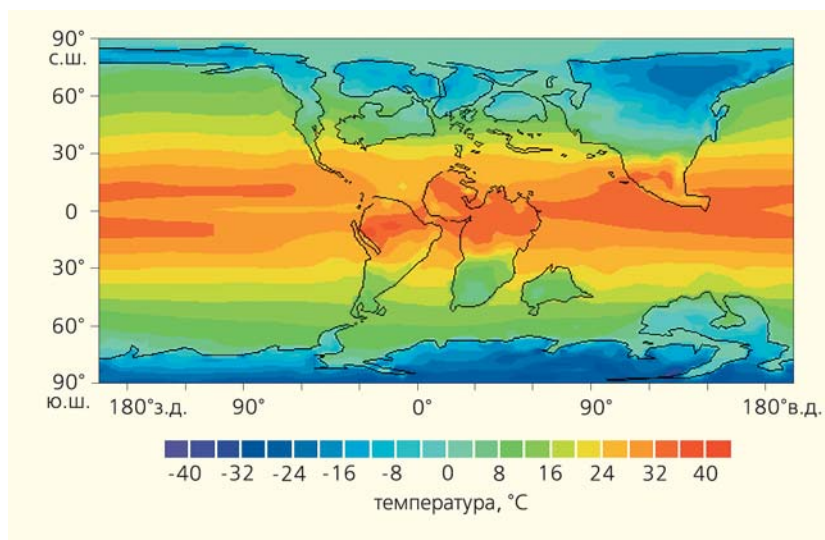


Рис.5. Палеогеографическая схема (распределение суши и морских акваторий) и средняя январская температура (расчет с использованием GCM Центра Хадли) для сеноманского века. Трилистником показано положение района, в котором произрастала изученная ископаемая флора бассейна р.Вилуй, в центре крупного массива Азиатской суши ([7], с изменениями).

двудольных растений. Высокое разнообразие палиноморф и присутствие среди них таксонов, близких современным теплолюбивым растениям (таким, как представители семейств Mastixiaceae, Araliaceae, Arecaceae, Cercidiphyllaceae), свидетельствуют о теплом и влажном климате.

Изучение глинистых минералов из 25 образцов пород тимердахской свиты показало, что в нижнемеловых отложениях содержится приблизительно равное количество каолинита и смектита, в верхнемеловых (тимердахской и линденской свитах) преобладает каолинит, иногда вместе с иллитом, но без какого-либо заметного участия смектита. Каолинит, как хорошо известно геологам, образуется в основном там, где выветривание горных пород проходит во влажных условиях. Эта тенденция, по-видимому, отражает возрастание гумидности условий выветривания с раннего мела и до конца мелового периода. Следовательно, как палинологические данные, так и состав глинистых минералов подтверждают полученный ранее методом

CLAMP вывод, что климат внутриконтинентальных районов Азии в позднем мелу был теплым, безморозным и достаточно влажным.

### Геологические данные и компьютерные модели

У читателя может возникнуть вполне справедливый вопрос: а в чем смысл изложенных выше исследований? И какое нам дело до вымерших растений и необычного климата, существовавшего в Центральной Сибири десятки миллионов лет назад?

Сейчас уже вполне очевидно, что накопление техногенного углекислого и других парниковых газов в атмосфере Земли в ближайшие годы приведет (и уже приводит) к потеплению глобального климата. Проблему изменений климата планеты начали осознавать во многих странах на правительственном уровне. Это выразилось в проведении всемирных конференций, в принятии мировым сообществом в 1992 г. Рамочной конвенции ООН по изменению климата, членами ко-

торой стали 185 государств, и в 1997 г. — Киотского протокола к ней. Данные документы призваны уменьшить выброс в атмосферу (как минимум на 5% по сравнению с уровнями 1990 г.) шести основных техногенных парниковых газов. Однако некоторые страны, в первую очередь США, не видят необходимости в снижении их эмиссии. Обычный аргумент противников Киотского протокола и готовящегося ему на смену соглашения таков: факт техногенного потепления климата не бесспорен. Небольшие изменения температуры трудноловимы приборными методами, и в основном выводы о будущих климатических изменениях строятся на компьютерном моделировании, адекватность и точность которого ставятся под сомнение.

Действительно, для оценки характера, результатов и последствий глобального потепления ученые используют компьютерные модели, в первую очередь модели общей циркуляции (General Circulation Model — GCM). Но как убедиться в их правильности? Ведь климат будущего, даже не очень отдаленного, мы попросту не знаем. Здесь на помощь приходит геологическая летопись. Существует единственный способ проверки моделей — сравнение геологических свидетельств о древнем климате с результатами его моделирования с использованием тех же самых GCM, что применяются и для предсказания будущих изменений. Меловой период, будучи экстремально теплым временем в истории Земли, как нельзя лучше подходит для тестирования климатических моделей. Такую проверку мы провели для одной из наиболее совершенных и широко используемой для предсказания будущих изменений климата — модели Центра Хадли (Великобритания). Наши результаты показали, что существующие GCM, «примененные» для реконструкции климата позднего мела, вполне адекватно пред-

сказали и то, что он был гораздо теплее нынешнего, и то, что меловое потепление особенно сильно сказалось в высоких широтах Северного и Южного полушарий.

Но что не смогла сделать данная модель — это воспроизвести климатические параметры внутренних районов Азии в условиях более теплого, чем ныне, климата мелового периода (рис.6). Мы смоделировали палеоклимат для сеноманского, туронского и маастрихтского веков (начала, середины и конца поздне меловой эпохи) с использованием соответствующих палеогеографических реконструкций, причем учитывалась и возможная ошибка метода [7]. Чувствительность модели исследовалась для разных орбитальных условий, содержания в атмосфере двуокси углерода и метана, условий поверхности океана и растительного покрова. Для трех веков мелового периода было сделано 42 моделирования. По каждому из них для бассейна р.Вилуи были рассчитаны температуры: среднегодовая, наиболее теплого и наиболее холодного месяцев. Далее по этим данным вычислялись среднее значение каждого климатического параметра, его максимум и минимум и стандартное отклонение (рис.6).

По нашим данным, во внутренних районах Азии существовал сухой климат с низкой среднегодовой температурой (от  $-3$  до  $+2^{\circ}\text{C}$ ) и широким годовым диапазоном температур: холодными зимами с температурами до  $-24^{\circ}\text{C}$  (см. рис.5) и жарким летом с температурой до  $+29^{\circ}\text{C}$  [7]. Однако расчетные параметры климата, полученные по палеоботаническим данным с использованием метода CLAMP (рис.6), говорят о том, что среднегодовая температура была выше, а годовой диапазон температур — существенно ниже, причем температура наиболее теплого месяца близка той, которую предсказали модели, но температура наиболее хо-

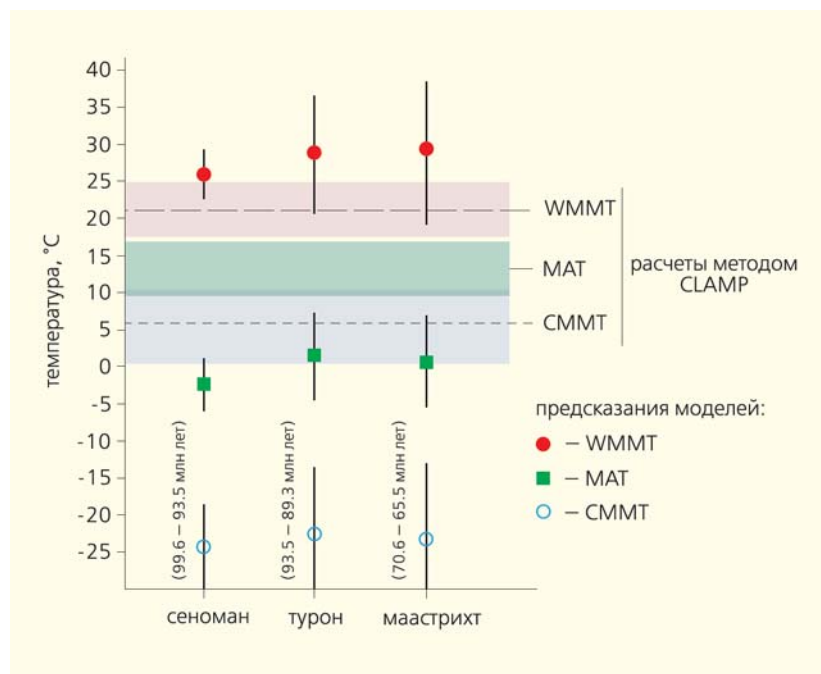


Рис.6. Сравнение среднегодовой температуры (MAT) и средних температур наиболее теплого (WMMT) и наиболее холодного (CMMT) месяцев, рассчитанных по методу CLAMP и предсказанных моделями, основанных на климатической модели Центра Хадли ([7], с изменениями) для позднего мела бассейна р.Вилуи. Неопределенность ( $\pm 2\sigma$ ) для CLAMP показана цветными полосами по обе стороны от линий, обозначающих средние значения. Модельная неопределенность ( $\pm 2\sigma$ ) определяется стандартным отклонением от среднего значения по нескольким модельным экспериментам (4 для сеномана, 16 для турона и 20 для маастрихта) и показана отрезками выше и ниже соответствующих символов.

лодного месяца — гораздо выше модельной. Годовой диапазон температур, таким образом, составлял около  $52^{\circ}\text{C}$  по GCM и  $15.3^{\circ}\text{C}$  по расчетам методом CLAMP (рис.6). Другими словами, GCM «приписывает» внутренним районам поздне меловой Азии близкий к современному резко континентальный климат, а геологические, и прежде всего палеоботанические, данные свидетельствуют об умеренно теплом влажном климате с мягкими зимами.

### Пессимистические сценарии и ответственность ученых

Сейчас уже ясно, что в поздне меловую эпоху в центральных районах Азии климат и растительность существенно отличались как от современных, так

и от тех, которые удастся реконструировать посредством компьютерного моделирования. Мы согласны с критиками GCM: современные, даже наиболее совершенные, модели неточны и содержат в себе какие-либо изъяны. Сказанное в предыдущем разделе вызывает серьезные сомнения в применимости существующих GCM для предсказания будущего потепления климата Земли. Однако гораздо важнее здесь то, что неточность современных компьютерных моделей, по крайней мере в отношении внутренних регионов Азии, приводит к недооценке возможных климатических изменений. Геологические факты свидетельствуют, что на самом деле ожидающие нас из-за изменений климата невзгоды могут быть значительно больше, чем это предсказывают модели.

Как уже говорилось выше, «парниковое» состояние гораздо более нормально для нашей планеты, чем «ледниковое». А это значит, что происходящее ныне потепление не уникально, это всего лишь продолжение долгой геологической истории планеты. Климатические изменения не раз за историю Земли были основными, если не единственными, причинами крупных, иногда катастрофических, вымираний животных и растений. К сожалению, есть веские основания полагать: техногенное потепление происходит очень быстро — гораздо быстрее, чем это было раньше. А значит, и последствия нынешнего потепления для биосферы могут оказаться гораздо более ощутимыми, чем в прошлые геологические эпохи.

В последнее время нередко приходится слышать упреки в адрес ученых в том, что, дескать, они преднамеренно сгуща-

ют краски в отношении грядущего техногенного потепления климата планеты и его пагубных последствий, необоснованно отстаивая наиболее пессимистические сценарии и таким образом добиваясь увеличения финансирования климатических проектов. Сомнение скептиков вызывает и то, что основной причиной потепления считается деятельность человека, а не естественный ход планетарных климатических процессов, при котором в скором времени потепление может смениться похолоданием.

Да, исследования климата Земли требуют затрат, и подчас немалых, а получаемые выводы нередко носят лишь вероятностный характер, не давая стопроцентной гарантии, что в действительности так и будет. Но здесь важно помнить следующее. Во-первых, научные исследования столь сложных систем, как планетарный климат,

принципиально не могут абсолютно точно предсказывать характер, амплитуду и последствия изменений на более или менее длительную перспективу. Точность таких предсказаний можно повысить единственным способом — продолжая исследование и совершенствуя их методику. Во-вторых, социальная ответственность ученых как раз в том и заключается, чтобы предупредить общество, что серьезные последствия в принципе возможны. А что если пессимистический сценарий на будущее, увы, оправдается? Но здесь уже дело и ответственность политиков — принимать конкретные решения, действовать немедленно или, надеясь на лучшее, бездействовать, рискуя тем, что экономические потери из-за будущих климатических изменений могут на много порядков превзойти затраты на проведение сегодняшних научных исследований. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 09-05-00107.**

## Литература

1. Чумаков Н.М. Климатическая зональность и климат мелового периода // Климат в эпохи крупных биосферных перестроек / Ред. М.А.Семихатов, Н.М.Чумаков. М., 2004. С.105—123.
2. Герман А. «Вымерший» климат Арктики // Наука в России. 2007. №1. С.36—44.
3. Захаров В.А. Бореальный климат в мезозое // Природа. 2010. №4. С.37—42.
4. Wolfe J.A. A Method of Obtaining Climatic Parameters from Leaf Assemblages // U.S. Geol. Surv. Bull. 1993. V.2040.
5. Герман А.Б. Поздне меловой климат Евразии и Аляски (по палеоботаническим данным) // Труды Геологич. ин-та РАН. Вып.559. М., 2004.
6. Герман А. Палеоботаника и древний климат Земли: воспоминания о будущем // Наука в России. 2006. №1. С.37—43.
7. Spicer R.A., Ablberg A., Herman A.B. et al. The Late Cretaceous Continental Interior of Siberia: a Challenge for Climate Models // Earth Planetary Science Letters. 2008. V.267. №1—2. P.228—235.
8. Frakes L.A. Climates through Geologic Time. Amsterdam; N.Y., 1979.
9. Вахрамеев В.А., Пуцаровский Ю.М. О геологической истории Вилюйской впадины и прилегающей части Приверхоанского краевого прогиба в мезозойское время // Вопросы геологии Азии. М., 1954. Т.1. С.588—628.
10. Philip's School Atlas. L., 2002.

# Эволюция и мораль

А.В.Марков

**Э**волюционная этика — сравнительно молодое направление биологических исследований, двигаясь по которому, биология вторгается на «запретную» территорию, где до сих пор безраздельно хозяйничали философы, богословы и гуманитарии. Происхождение кооперации и альтруистического поведения — центральный вопрос эволюционной этики.

Под альтруизмом в биологии понимают поведение, ведущее к повышению приспособленности (репродуктивного успеха) других особей в ущерб своим собственным шансам на успешное размножение. Такое определение по существу мало отличается от принятых в этике определений альтруизма, с учетом того обстоятельства, что действие естественного отбора в общем случае направлено именно на повышение приспособленности (репродуктивного успеха). Это позволяет метафорически говорить о репродуктивном успехе как о главной цели, в достижении которой заинтересованы эволюционирующие организмы. Разумеется, эта заинтересованность не осознанна: речь идет лишь о том, что изменения, претерпеваемые организмами под действием естественного отбора, как правило, повышают репродуктивный успех.

Перед биологами, изучающими происхождение кооперации и альтруизма, стоят два основных вопроса. С одной стороны, очевидно, что почти все свои жизненные задачи орга-



**Александр Владимирович Марков**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории высших беспозвоночных Палеонтологического института РАН. Занимается изучением ранних этапов эволюции жизни на Земле. Активный популяризатор науки, в частности автор интернет-проекта «Проблемы эволюции» (<http://macroevolution.narod.ru>), участник научно-популярных программ на радио «Свобода» и т.д.

низмам легче решать совместными усилиями, чем в одиночку. Кооперация могла бы стать для многих из них идеальным решением большинства проблем. Так почему же биосфера не превратилась в царство всеобщей дружбы и взаимопомощи?

Второй вопрос противоположен первому. Как вообще альтруизм мог возникнуть в ходе эволюции, если ее движущей силой служит механизм естественного отбора, в своей основе, казалось бы, чисто эгоистический? Примитивное, упрощенное понимание механизмов эволюции может привести к неверному выводу, что альтруизм несовместим с эволюцией. Ошибка здесь — в смешении уровней генов, особей, групп, популяций, видов, сообществ, на которых мы рассматриваем эволюцию. Но все эволюционные изменения фиксируются только на уровне генов, поэтому уровень, с которого следует начинать рассмотрение, — генетический. На уровне генов в основе эволюции лежит конкуренция разных вариантов (аллелей) одного и того же гена за доминирование в генофонде популяции. Здесь никакого альтруизма в принципе быть не может — ген всегда эгоистичен. Если появится «альтруистический» аллель, позволяющий в ущерб себе размножаться другому аллелю, такой «альтруист» будет автоматически вытеснен из генофонда и попросту исчезнет.

## Родственный отбор

Однако, если перевести взгляд с уровня конкурирующих аллелей на уровень конкурирующих особей, картина будет уже другой, потому что интересы гена не всегда совпадают с интересами организма. Аллель не единичный объект: он присутствует в генофонде в виде множества идентичных копий. Организм, напротив, объект единичный, каждая клетка его несет в себе, как правило, только одну

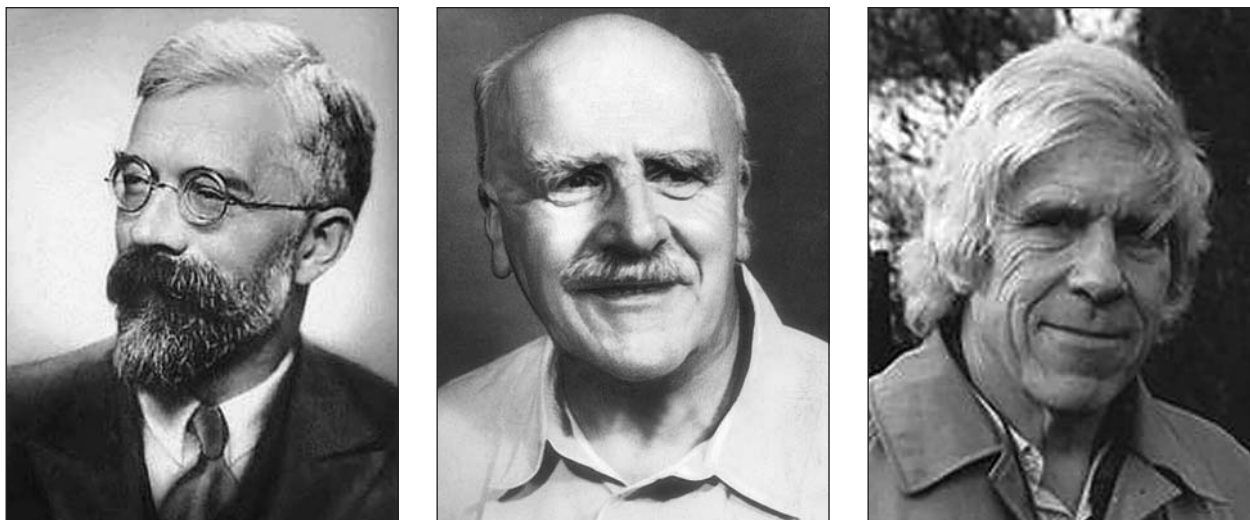


Рис.1. Создатели теории родственного отбора: Рональд Фишер (1890—1962), Джон Холдейн (1892—1964), Уильям Гамильтон (1936—2000).

или две из этих копий. Иногда «эгоистичному» гену выгодно пожертвовать одной-двумя своими копиями, чтобы обеспечить преимущество остальным, которые заключены в других организмах.

К этой мысли биологи стали подходить уже в 30-х годах XX в. (рис.1). Важный вклад в понимание эволюции альтруизма внесли Рональд Фишер (1930), Джон Холдейн (1955) и Уильям Гамильтон (1964). Они построили так называемую теорию родственного отбора. Суть ее образно выразил Холдейн в своем афоризме: «Я бы отдал жизнь за двух братьев или восемь кузенов». Что он имел при этом в виду, можно понять из правила Гамильтона: ген альтруизма (точнее, аллель, способствующий альтруистическому поведению) будет поддержан отбором и распространится в популяции, если  $rB > C$ , где  $r$  — степень генетического родства «жертвователя» и «принимающего жертву» (от нее зависит вероятность того, что в геноме последнего есть тот же самый аллель альтруизма);  $B$  — репродуктивное преимущество, полученное адресатом альтруистического акта;  $C$  — репродуктивный ущерб, нанесенный «жертвователем» себе. Репродуктивное преимущество и ущерб можно измерять, например, в числе оставленных (или не оставленных) потомков. С учетом того, что от акта альтруизма может выиграть не одна, а много особей, формулу можно модифицировать следующим образом:  $nrB > C$ , где  $n$  — число принимающих жертву.

Правило Гамильтона не вводит дополнительных сущностей и не опирается ни на какие специальные допущения. Оно логически вытекает из базовых фактов и моделей популяционной генетики. Если  $nrB > C$ , аллель альтруизма автоматически, без всяких внешних направляющих сил, будет увеличивать свою частоту в генофонде популяции.

Для самого аллеля никакого альтруизма в этом нет: просто он заставляет своих носителей (организмы) вести себя альтруистично, соблюдая тем самым свои эгоистические интересы. Аллель жертвует несколькими своими копиями, чтобы дать преимущество другим своим копиям, заключенным в телах близкородственных организмов. Естественный отбор — это автоматическое взвешивание суммы выигрышей и проигрышей для аллеля (для всех его копий вместе!), и, если выигрыши перевешивают, аллель распространяется.

Правило Гамильтона обладает замечательной объясняющей и предсказательной силой. В частности, оно позволяет понять многократное возникновение эусоциальности у перепончатокрылых насекомых (муравьев, пчел, ос, шмелей). У них большинство самок отказываются от собственного размножения, чтобы помогать матери выращивать других дочерей. Развитию эусоциальности именно в этом отряде способствует гаплодиплоидный механизм наследования пола. У перепончатокрылых самки имеют двойной набор хромосом и развиваются из оплодотворенных яиц, а у самцов одинарный набор хромосом, и развиваются они из неоплодотворенных яиц. Из-за этого складывается парадоксальная ситуация: сестры оказываются более близкими родственницами, чем мать и дочь (рис.2). У большинства животных степень родства между сестрами и между матерями и дочерьми одинакова (50% генов идентичны по происхождению; величина  $r$  в формуле Гамильтона равна  $1/2$ ). У перепончатокрылых родные сестры имеют 75% общих генов ( $r = 3/4$ ), потому что каждая сестра получает от отца не случайно выбранную половину его хромосом, а весь геном полностью. Мать и дочь у перепончатокрылых имеют, как и у других животных, лишь 50% общих генов, поэтому для эффек-

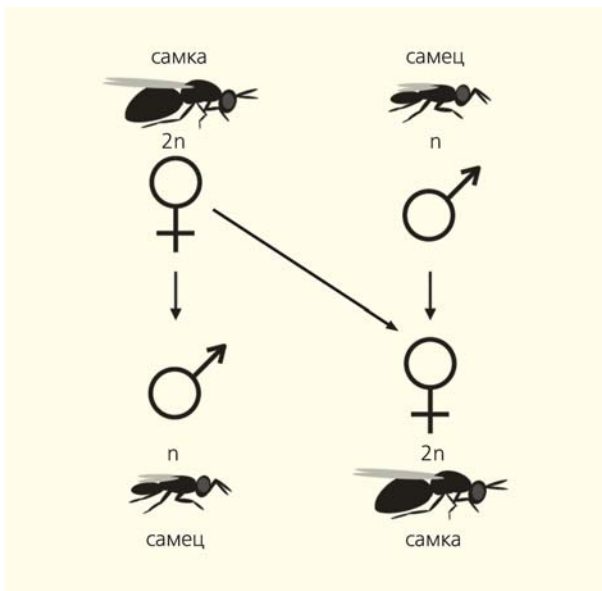


Рис.2. Гаплодиплоидная детерминация пола у перепончатокрылых насекомых. В этом отряде у родных сестер, получающих от отца полностью гаплоидный хромосомный набор, одинаковых генов 75%, тогда как у большинства животных степень родства между сестрами и между матерями и дочерьми меньше (50% общих генов).

тивного «тиражирования» своих генов самкам перепончатокрылых, при прочих равных, выгоднее выращивать сестер, чем дочерей.

Кроме родственного отбора существует ряд других механизмов, помогающих или, наоборот, препятствующих развитию альтруизма. Рассмотрим эти механизмы на конкретных примерах.

### Альтруисты и обманщики среди бактерий

Экспериментальное изучение эволюции бактерий («эволюция в пробирке») — одно из перспективных направлений современной микробиологии. Интересные результаты получены на бактерии *Pseudomonas fluorescens*, которая при необходимом минимуме условий быстро эволюционирует прямо на глазах у исследователей, осваивая новые ниши и вырабатывая оригинальные адаптации (рис.3).

В жидкой питательной среде бактерии развиваются сначала как одиночные клетки и постепенно занимают всю толщу бульона. Когда в среде становится мало кислорода, преимущество получают бактерии-мутанты, образующие пленку на поверхности среды, — они выделяют вещества, способствующие склеиванию клеток, которые всплывают на поверхность, где кислорода гораздо больше. Производство клея — дело дорогостоящее, однако общая награда (кислород) с лихвой покрывает расходы. Впрочем, от колоний бакте-

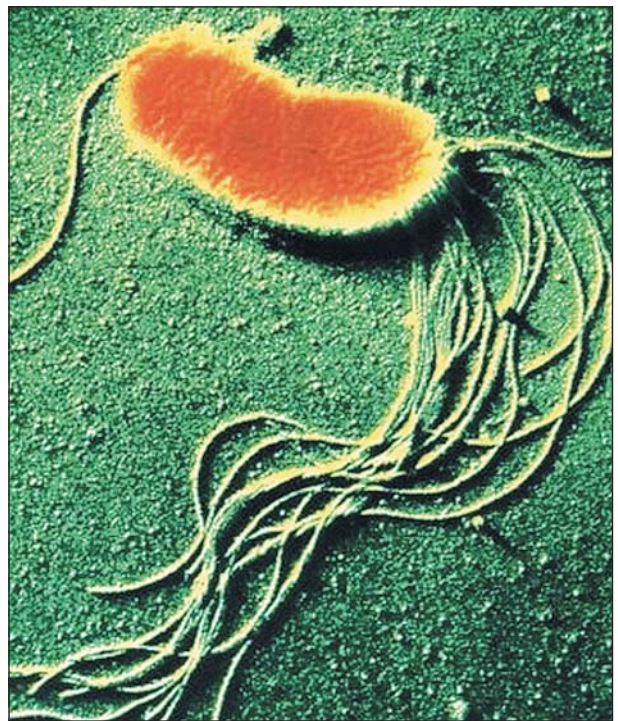


Рис.3. Подвижная почвенная бактерия *Pseudomonas fluorescens*, на которой изучали эволюцию «в пробирке» (внизу). Вверху — колония бактерий-мутантов, образующих пленку на поверхности среды, что спасает их от кислородного голодания [1].

рий-мутантов еще далеко до настоящей социальности, тем более до настоящей многоклеточности. Такие колонии недолговечны из-за своей беззащитности перед микробами-«обманщиками», начинающими на них паразитировать. Проблема в том, что естественный отбор в такой колонии по-прежнему действует на индивидуальном, а не



на групповом уровне. Поэтому он благоприятствует клеткам-обманщикам, т.е. обратным мутантам, которые не производят клей, но продолжают пользоваться преимуществами жизни в группе. В этой системе нет механизмов, которые препятствовали бы такому паразитизму, а безнаказанность, способствующая быстрому размножению обманщиков, приводит к разрушению колонии. Дальнейшая эволюция альтруизма и кооперации в такой системе становится невозможной [1].

Этот пример наглядно показывает, в чем состоит главное препятствие на пути эволюции кооперации и альтруизма: зарождающаяся кооперация создает благоприятные условия для размножения нахлебников и паразитов, которые часто лишают кооперацию всякого смысла. Чтобы социальная система смогла развиваться дальше самых первых шагов, ей необходимо научиться бороться с обманщиками. Такие механизмы иногда действительно вырабатываются. Нередко это приводит к «эволюционной гонке вооружений»: обманщики совершенствуют способы обмана, а кооператоры — способы выявления обманщиков, борьбы с ними, или пытаются не допустить их появления.

### Единичные мутации — способ защиты от обманщиков

Для бактерий *Mucococcus xanthus* характерно сложное коллективное поведение. Иногда они собираются в большие скопления и устраивают коллективную «охоту» на других микробов. «Охотники» выделяют токсины, убивающие добычу, а затем всасывают органические вещества, высвободившиеся при распаде погибших клеток.

При недостатке пищи миксококки образуют плодовые тела, в которых часть бактерий превращается в споры (рис.4). В виде спор микробы мо-

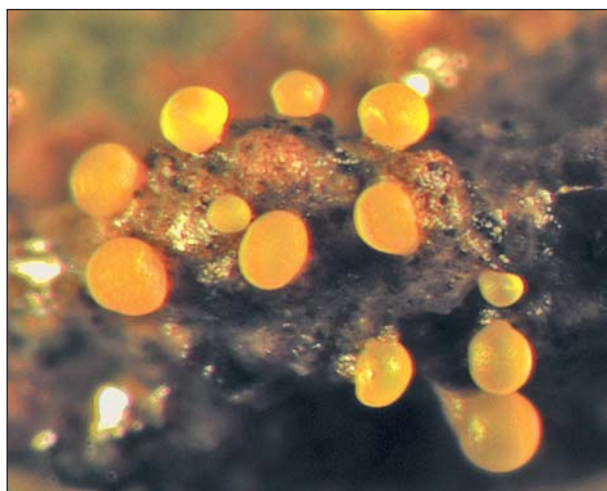


Рис.4. Плодовые тела бактерии *Mucococcus xanthus*, которые образуются при недостатке пищи [2].

гут пережить голодные времена. Плодовое тело формируется из множества индивидуальных бактериальных клеток. Создание такой сложной многоклеточной структуры требует слаженных действий миллионов отдельных бактерий, из которых лишь часть получает прямую выгоду, а остальные жертвуют собой ради общего блага. Дело в том, что только некоторые из участников коллективного действия могут превратиться в споры и передать свои гены следующим поколениям. Остальные выступают в роли «стройматериала», обреченного умереть, не оставив потомства.

Как мы уже знаем, альтруизм создает благоприятную среду для эгоистов-«обманщиков». Среди миксококков обманщики тоже есть: это генетические линии (штаммы), не образующие собственных плодовых тел, но умеющие пристраиваться к чужим и образовывать там свои споры. С одним из таких штаммов были проведены интересные эксперименты. Смешанную культуру альтруистов и обманщиков выращивали попеременно то в голодной, то в богатой питательными веществами среде. Во время голодовок выживали только те бактерии, которым удалось превратиться в споры. Смешанная культура постепенно деградировала, потому что с каждым циклом доля паразитов неуклонно росла, и в конце концов альтруистов осталось слишком мало, чтобы обеспечить себя и других плодовыми телами.

В этом опыте альтруисты так и не сумели выработать защиту от обманщиков. Зато случилось другое: у самих обманщиков произошла мутация, в результате которой они восстановили утраченную способность к самостоятельному образованию плодовых тел и одновременно получили дополнительное преимущество. Такие мутантные бактерии оказались защищены от нахлебников, т.е. от своих прямых предков — бактерий-обманщиков. Таким образом, одна-единственная мутация превратила обманщиков в альтруистов, защищенных от обмана. Мутация произошла в одном из генов-регуляторов, влияющих на поведение бактерий. Конкретный молекулярный механизм данного эффекта пока не выяснен [2].

Обманщики хорошо знакомы и более сложным одноклеточным организмам, таким как социальные амебы *Dictyostelium discoideum*. Они, как и многие бактерии, при недостатке пищи собираются в большие многоклеточные агрегаты (псевдоплазмодии), из которых затем образуются плодовые тела (рис.5). Те амебы, чьи клетки идут на построение ножки плодового тела, жертвуют собой ради товарищей, получающих шанс превратиться в споры и продолжить род [3].

Эксперименты на диктиостелиуме показали, что у этого организма вероятность развития устойчивости к определенным штаммам обманщиков в результате случайных мутаций довольно высока, как и у миксококков [4]. Подобные примеры свидетельствуют, что в природе, очевидно, идет

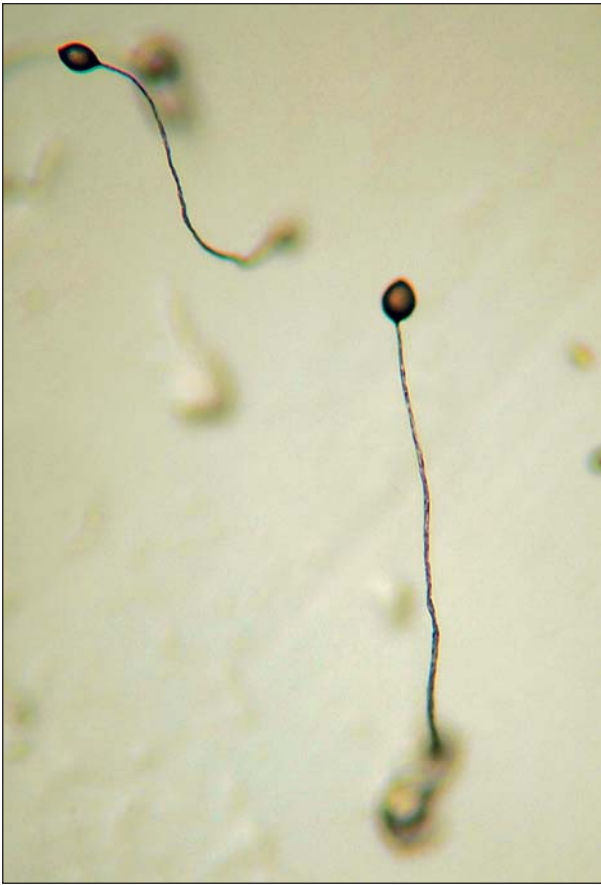


Рис.5. Одиночные амёбы *Dictyostelium discoideum*. Амёба диктиостелиум, относящаяся к группе слизневигов, в определенных условиях образует подвижные агрегаты, а затем многоклеточные плодовые тела сложного строения. Сегодня это один из модельных организмов в клеточной биологии, генетике и биологии развития.

постоянная борьба между альтруистами и обманщиками, и поэтому их геномы «настроены» естественным отбором так, чтобы случайные мутации с большой вероятностью стали защитой от той или иной разновидности обманщиков. Нечто подобное наблюдается у многоклеточных животных в клетках иммунной системы. Аналогия между средствами защиты от обманщиков у социальных одноклеточных и иммунной системой многоклеточных может оказаться весьма глубокой. Не исключено, что у животных сложная иммунная система изначально развилась для борьбы не с инфекциями, а с клетками-обманщиками, которые пытались паразитировать на многоклеточном организме [5].

Создается впечатление, что эволюция социальных бактерий и простейших неоднократно начинала двигаться в сторону формирования многоклеточного организма, но дело почему-то не пошло дальше плазмодиев и просто устроенных плодовых тел. Все по-настоящему сложные мно-

гоклеточные организмы формируются иным путем — не из множества индивидуальных клеток с различающимися геномами, а из потомков одной-единственной клетки (что гарантирует генетическую идентичность всех клеток организма). Одна из причин эволюционной бесперспективности многоклеточных организмов, образующихся из скоплений одноклеточных индивидуумов, в том, что возникают идеальные условия для развития социального паразитизма. Любая мутация, позволяющая одноклеточному индивиду пользоваться преимуществами жизни в многоклеточном коллективе и ничего не давая взамен, имеет шанс распространиться, невзирая на ее гибельность для популяции.

### Альтруисты и обманщики среди социальных животных

Крупнейшим триумфом эволюции альтруизма стало появление настоящих многоклеточных организмов, в том числе животных. У них большинство клеток — альтруисты, отказавшиеся от собственного размножения ради общего блага. У животных по сравнению с микробами появились новые возможности для развития кооперации и альтруизма, основанные на сложном поведении и обучаемости. Но такие же возможности открылись и перед обманщиками: они научились хитрее обманывать кооператоров, а те, со своей стороны, стали вырабатывать новые методы выявления обманщиков и борьбы с ними. Эволюционная гонка вооружений продолжилась на новом уровне, и опять ни альтруисты, ни обманщики не получили решающего преимущества.

Как мы знаем, рабочие особи общественных перепончатокрылых обычно не размножаются, посвящая себя заботам о потомстве царицы. Однако у многих видов рабочие особи физиологически вполне способны к размножению, и иногда они действительно проявляют «эгоизм», откладывая собственные неоплодотворенные яйца. Напомним, что у перепончатокрылых из неоплодотворенных яиц развиваются самцы. А из-за особенностей наследования пола наиболее выгодно выращивать чужих дочерей (своих сестер) и собственных сыновей. Именно так и пытаются себя вести рабочие осы многих видов. Однако эти «несанкционированные» яйца, отложенные рабочими особями, часто уничтожаются другими рабочими, таким образом выполняющими функцию своеобразной «полиции нравов».

Германские энтомологи попытались проверить, какой из двух факторов важнее для поддержания альтруизма в обществе насекомых — добровольное следование принципу «разумного эгоизма», т.е. родственный отбор в чистом виде, или «полицейский надзор». При обработке данных по 10 видам общественных перепончатокры-

лых выяснилось, что чем строже «полиция нравов», тем реже рабочие откладывают собственные яйца. Проверили также влияние степени родства между рабочими в гнезде на альтруистическое поведение. Степень родства между ними часто бывает ниже идеальных 75%, поскольку царица может спариваться с несколькими разными самцами. Оказалось, что чем ниже степень родства между сестрами-рабочими, тем сильнее «полицейский надзор» и тем реже рабочие ведут себя эгоистически. Это соответствует второй гипотезе (о ведущей роли «полицейских» мер). При низкой степени родства между рабочими им становится выгоднее уничтожать яйца других рабочих. Низкая степень родства также делает более выгодным эгоистическое поведение, но, как видно из полученных результатов, эффективный «полицейский надзор» явно перевешивает эгоистические устремления рабочих особей [6]. Видимо, кооперативная система, созданная родственным отбором, даже в таких «идеальных» условиях, как семьи перепончатокрылых, все равно разрушается обманщиками, если не будет дополнительных средств борьбы с эгоизмом.

Данная закономерность может быть справедлива и для человеческого общества, хоть это и трудно проверить экспериментально. Общественная жизнь невозможна без альтруизма (индивид должен жертвовать своими интересами ради общества), и в конечном счете от этого выигрывают все. Однако каждой отдельной личности во многих случаях все-таки выгодно поступать эгоистически, преследуя свои корыстные интересы в ущерб коллективу. И для эффективной борьбы с эгоизмом приходится применять насильственные методы.

### Генетическая идентичность кооператоров против обманщиков

Можно ли создать общественное устройство, где альтруизм будет поддерживаться без насилия и не будет обманщиков и эгоистов? Ни осам, ни людям это пока не удалось. Однако некоторые кооперативные симбиотические системы, существующие в природе, указывают на то, что в принципе появление обманщиков можно предотвратить. Для этого нужно в кооперативной системе свести генетическое разнообразие индивидумов к нулю, что исключит конкуренцию между ними. Если все симбионты генетически идентичны, эгоистическая эволюция внутри системы невозможна, поскольку из минимального набора необходимых для эволюции условий — дарвиновской триады «наследственность, изменчивость, отбор» — исключается один из компонентов, а именно изменчивость. В результате эволюционные интересы симбионтов-близнецов автоматически отождествляются с интересами всей системы и отбор на-

чинает действовать на уровне целых симбиотических систем.

Именно поэтому, несмотря на многократные «попытки», эволюции так и не удалось создать полноценный многоклеточный организм из генетически разнородных клеток. Все настоящие многоклеточные организмы образуются из клонов — потомков одной-единственной клетки.

Если кооперативная система состоит из крупного многоклеточного «хозяина» и маленьких «симбионтов», самый простой путь для хозяина обеспечить генетическую идентичность симбионтов — это передавать их вертикально, т.е. по наследству, причем заниматься этим должен только один из полов — либо самцы, либо самки. Именно так передаются, например, митохондрии у всех эукариот — строго по материнской линии, причем сами митохондрии размножаются клонально. Так же из поколения в поколение передают свои сельскохозяйственные культуры муравьи-листорезы. При вертикальной передаче генетическое разнообразие симбионтов автоматически поддерживается на близком к нулю уровне за счет генетического дрейфа и «бутылочных горлышек».

Существуют, однако, и симбиотические системы с горизонтальной передачей симбионтов. В них симбионты у каждого хозяина генетически разнородны, они сохраняют способность к эгоистической эволюции, и поэтому среди них то и дело появляются обманщики. Например, известны штаммы обманщиков среди светящихся бактерий (симбионтов рыб и кальмаров), азотфиксирующих бактерий-ризобий (симбионтов растений), микоризных грибов (рис.6), зооксантелл (симбионтов кораллов). Во всех этих случаях эволюции не удалось обеспечить генетическую однородность симбионтов, и потому хозяева вынуждены бороться с обманщиками иными методами — например, иммунологическими, или просто терпеть их присутствие, полагаясь на те или иные механизмы, обеспечивающие баланс численности обманщиков и честных кооператоров. Лишь в редких случаях при горизонтальной передаче симбионтам-хозяевам удается поддерживать их генетическую идентичность, как это делают термиты *Macrotermes* sp., практикующие монокультурное разведение грибов *Termitomyces* sp. (рис.6).

Рассмотренные примеры позволяют предположить, что, если бы не проблема обманщиков, порождаемая отсутствием у эволюции дара предвидения и заботы о «благе вида» (а не гена), кооперация и альтруизм могли бы стать доминирующей формой взаимоотношений между организмами на нашей планете. Но эволюция слепа, и кооперация развивается только там, где то или иное стечение специфических обстоятельств помогает обуздать обманщиков или предотвратить их появление. Существует не так уж много удачных «ин-

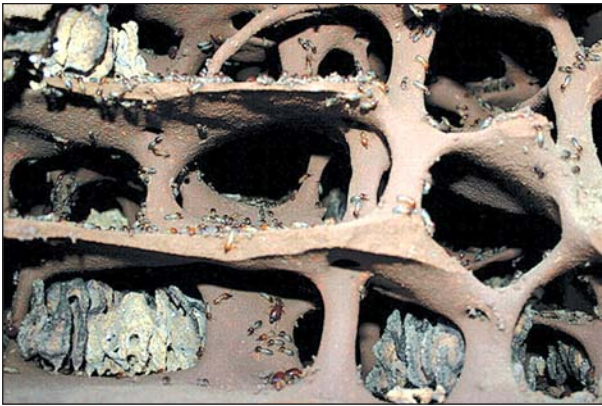


Рис.6. Камеры для выращивания грибов *Termitomyces* sp. в гнезде термитов-грибоводов. Справа — термит *Macrotermes* sp. собирает урожай (плодовые тела грибов). Симбиоз термитов с грибами возник более 30 млн лет назад в экваториальной Африке. Сегодня подсемейство таких грибоводов включает 10 родов и 330 видов.

женерных решений», позволяющих справиться с обманщиками. На каждое из них эволюция неоднократно «натыкалась» в своих блужданиях по пространству возможного.

### Межгрупповая конкуренция способствует внутригрупповой кооперации

Если у какого-то вида животных кооперация уже развилась настолько, что вид перешел к общественному образу жизни, могут вступить в действие дополнительные механизмы, способствующие дальнейшему развитию кооперации. У социальных животных индивид, как правило, может успешно размножиться только будучи членом успешной группы. При этом конкуренция обычно существует не только между особями внутри группы, но и между группами. К чему это приводит, показывает модель «вложенного перетягивания каната», разработанная американскими эволюционистами [7]. Целью исследования было найти объяснение ряду количественных закономерностей, наблюдаемых в социальном устройстве общественных насекомых. В модели «вложенного перетягивания каната» каждый индивид эгоистически расходует часть «общественного пирога», чтобы увеличить в нем свою долю (рис.7). Эта потраченная на внутригрупповую конкуренцию часть называется «эгоистическим усилием» данного индивида. Доля, доставшаяся в итоге каждому индивиду, зависит от соотношения его собственного эгоистического усилия и суммы эгоистических усилий остальных членов группы. Нечто подобное наблюдается у общественных насекомых, когда они осуществляют «взаимный надзор» — мешают друг другу откладывать яйца, стараясь при этом отложить свои.

На тех же принципах строятся в модели и взаимоотношения между группами. Таким образом,

получается вложенное, двухуровневое «перетягивание каната». Чем больше энергии тратят особи на внутригрупповую борьбу, тем меньше ее остается для межгруппового «перетягивания» и тем меньше получается «общий пирог» группы.

Исследование этой модели при помощи теории игр показало, что она хорошо объясняет эмпирически наблюдаемые закономерности. Модель подтвердила, что внутригрупповая кооперация должна расти с ростом внутригруппового родства (что соответствует теории родственного отбора). Но она также показала, что кооперация может иметь место даже при полном отсутствии

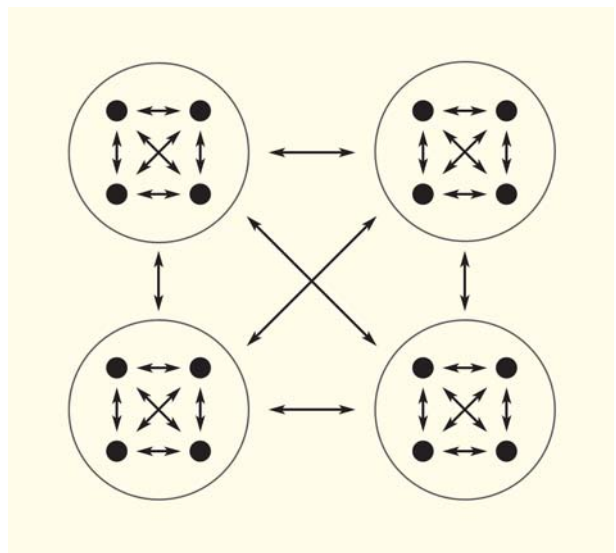


Рис.7. «Вложенное перетягивание каната». Члены группы соревнуются за свою долю общественного пирога. Размер пирога зависит от успешности группы в соревновании с другими. Чем больше сил тратят особи на внутригрупповую борьбу, тем меньше их остается на общественно-полезную деятельность [7].

родства между членами группы. Для этого необходима острая конкуренция между группами. Главный вывод состоит в том, что межгрупповая конкуренция — один из важнейших, а может быть, и самый главный фактор, стимулирующий развитие кооперации и альтруизма у социальных организмов.

Эта модель приложима не только к насекомым, но и к другим общественным животным, включая человека. Аналогии вполне очевидны. Ничто так не сплачивает коллектив, как совместное противостояние другим коллективам; множество внешних врагов — обязательное условие устойчивого существования тоталитарных империй и надежное средство для сплочения населения в альтруистический муравейник. Многие антропологи склоняются к мысли, что альтруизм у людей развился под влиянием частых межгрупповых конфликтов [8]. Согласно этой теории, альтруизм у наших предков был направлен только на членов «своей» группы. С помощью математических моделей было показано, что альтруизм мог развиваться только в комплексе с враждебностью к чужакам. Следовательно, такие, казалось бы, противоположные свойства человека, как доброта и воинственность, возможно, развивались в едином комплексе. Ни та, ни другая черта по отдельности не принесли бы пользы своим обладателям.

Необходимо очень четко понимать, какие этические выводы можно сделать из данных эволюционной этики, а какие ни в коем случае делать нельзя. Если тот или иной аспект нашего поведения, эмоций и морали имеет эволюционное объяснение, это вовсе не значит, что данное поведение имеет эволюционное «оправдание», что оно хорошее и правильное. Например, враждебность к чужакам и войны с иноплеменниками были неотъемлемой частью нашей эволюционной истории и даже, вероятно, необходимым условием развития основ нашей морали, склонности к кооперации и альтруизму. Но то, что исторически наш альтруизм был направлен только на «своих», а к чужакам наши предки испытывали отвращение и вражду, не означает, что это тот образец нравственности, которому мы должны подражать сегодня. Эволюционная этика объясняет, но не оправдывает наши врожденные склонности. В настоящее время морально-этические нормы определяются культурной и социальной эволюцией в неизмеримо большей степени, чем эволюцией биологической, которая идет гораздо медленнее. К счастью, помимо архаичных инстинктов и эмоций эволюция дала человеку еще и разум, и поэтому мы можем и должны подняться над своими биологическими корнями и своевременно пересматривать устаревшие этические рамки, которые эволюция навязала нашим предкам. ■

## Литература

1. *Raine P.B.* Unity from Conflict // *Nature*. 2007. V.446. P.616.
2. *Fiegna F., Yu Y.-T.N., Kadam S.V., Velicer G.J.* Evolution of an Obligate Social Cheater to a Superior Cooperator // *Nature*. 2006. V.441. P.310—314.
3. *Kessin R.H.* Cooperation Can Be Dangerous // *Nature*. 2000. V.408. P.917—919.
4. *Khare A., Santorelli L.A., Strassmann J.E.* Cheater-Resistance Is Not Futile // *Nature*. 2009. V.461. P.980—982.
5. *Stoner D.S., Weissman I.L.* Somatic and Germ Cell Parasitism in a Colonial Ascidian. Possible Role for a Highly Polymorphic Allorecognition System // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 1996. V.93. №26. P.15254—15259.
6. *Wenseleers T., Ratnieks F.L.W.* Enforced Altruism in Insect Societies // *Nature*. 2006. V.442. P.50.
7. *Reeve H.K., Hölldobler B.* The Emergence of a Superorganism through Intergroup Competition // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2007. V.104. №23. P.9736—9740.
8. *Choi J.K., Bowles S.* The Coevolution of Parochial Altruism and War // *Science*. 2007. V.318. P.636—640.

# Сероводород: от канализации Парижа к сигнальной молекуле

Г.Ф.Ситдикова, А.Л.Зефирова

**В** III в. один из основателей алхимии Зосима из Панополиса описывал «серную воду», или «святую воду», способную превращать вещество в золото и зачернять монеты, сделанные из меди и серебра. Много позже итальянский врач (основоположник учения о профессиональных заболеваниях) Б.Рамаццини сообщил о случаях отравления в своей книге «О болезнях ремесленников. Рассуждение» (1700 г.). В главе «Заболевания уборщиков туалетов и выгребных ям» он описал воспаления и раздражения глаз, характерные для этих рабочих, и советовал «чистильщикам клоак» натягивать на голову прозрачные бычьи пузыри. В 1775 г. молодой швед К.В.Шееле, начавший свою карьеру как аптекарь, обнаружил, что взаимодействие неорганических кислот с сульфидом железа (пиритом) или нагревание серы в водородном газе может привести к образованию удушающего серного газа с запахом тухлых яиц. Это и был сероводород,  $H_2S$ . В 1777 г. целый ряд несчастных случаев произошел в Париже в связи с выделением газа из канализационных систем. Столетием позже В.Гюго описал эти события в романе «Отверженные», где назвал канализационную систему Парижа «утробой Левиафана». Так что токсичность се-



**Гузель Фаритовна Ситдикова**, доктор биологических наук, профессор Казанского (Приволжского) федерального университета. Научные интересы включают: изучение ионных каналов, механизмов межклеточной сигнализации, действия газообразных посредников.



**Андрей Львович Зефирова**, член-корреспондент РАМН, доктор медицинских наук, профессор Казанского государственного медицинского университета. Область научных интересов — физиология мышечной и нервной систем, в частности молекулярные механизмы синаптической передачи.

роводорода известна уже более 300 лет, но сейчас мы знаем о ней гораздо больше.

Первые признаки отравления — это раздражение слизистой глаз, гортани, кашель, тошнота, одышка. Длительные воздействия низких доз вызывают утомление, потерю аппетита, головные боли, раздражительность, нарушения памяти, головокружение; приводят к заболеваниям ЦНС, сердечно-сосудистой и дыхательной систем,

желудочно-кишечного тракта [1]. При концентрациях более 100 ppm запах перестает ощущаться через 2–10 мин вследствие паралича обонятельного нерва, а при 500 ppm через 30 мин наступает паралич дыхания и смерть. В концентрации более 1000 ppm первый же вдох вызывает немедленную остановку дыхания.  $H_2S$  даже использовался Великобританией в качестве отравляющего вещества в Первую мировую войну.

© Ситдикова Г.Ф., Зефирова А.Л., 2010

Как химическое соединение сероводород — сильный восстановитель. Его молекула, будучи липофильной, свободно проникает через мембраны клеток, чем и обусловлен основной механизм острой интоксикации  $H_2S$ . Он связывается с железом в геме фермента цитохром-с-оксидазы, она теряет активность, в результате чего останавливается окислительное фосфорилирование в митохондриях и нарушается клеточное дыхание. Хотя бактериальная флора кишечника и поставляет  $H_2S$ , он не проникает в кровь, так как ферменты кишечного эпителия разрушают сульфиды. Это защищает клетки от высоких локальных концентраций  $H_2S$  и предотвращает проникновение газа в систему кровообращения [2].

Трудно поверить, что такая опасная для здоровья молекула может играть роль внутри- и межклеточного посредника (регулятора) в организме животных, в том числе и человека. Однако сейчас все больше данных свидетельствует об этом. О некоторых недавно открытых механизмах действия этого газа в разных системах организма пойдет речь в статье.

## Посредники взаимодействия

Внутри- и межклеточные коммуникации лежат в основе передачи информации в нервной системе и сложнейших, интегративных функций мозга. За счет таких взаимодействий регулируется и координируется работа всех систем организма. Связь «всего со всем» осуществляют специальные сигнальные молекулы. Выделяемые определенными клетками, они поступают в межклеточную жидкость или кровь и связываются с мембранными рецепторами клеток-мишеней или проникают в них, изменяя их функцию (рис.1). Сигнальные молекулы бывают самых разных размеров: от небольших биогенных аминов, аминокислот и других молекул до относительно крупных белков и липидов [3]. Понятно, что это вещества весьма разной химической структуры, и именно она обеспечивает разнообразие свойств и функций молекулярных посредников, поэтому существует, например, несколько групп одних только нейромедиаторов.

До последнего времени к нейромедиаторам относили

амины, аминокислоты, пуриновые нуклеотиды, пептиды. Все они запасаются в синаптических везикулах (пузырьках), посредством их экзоцитоза попадают в межклеточное пространство и связываются со специфическими рецепторами соседних клеток. Инактивация нейромедиаторов происходит либо путем их обратного захвата в нервную клетку, либо путем ферментативного разрушения [3].

Традиционные представления о медиаторах подверглись кардинальному пересмотру в конце 70-х годов прошлого века после открытия монооксида азота\*,  $NO$  [4, 5]. Эту небольшую молекулу, обладающую амфифильными свойствами и свободно проникающую через мембрану, стали относить к особой группе сигнальных молекул — газомедиаторов (газомедиаторов). В отличие от известных нейромедиаторов,  $NO$  не запасается в синаптических везикулах, он выделяется сразу после синтеза из любой части клетки. Для него не существует рецепторов на мембране, он проникает в клетку за счет диффузии и действует обычно на внутриклеточные ферменты и ионные каналы в нервной, сердечно-сосудистой и других системах организма. В начале 90-х годов к группе газомедиаторов присоединился монооксид углерода,  $CO$ , и совсем недавно — сероводород.

$H_2S$  синтезируется в тканях животных и проявляется целым рядом физиологических эффектов в сердечно-сосудистой и нервной системах, желудочно-кишечном тракте [6]. Именно поэтому эндогенный  $H_2S$  отнесен к газомедиаторам [2].

По всей видимости, этот газ был в составе земной атмосферы и океана еще в палеозое и, следовательно, не может считаться недавней эволюционной биологической инновацией. Ре-

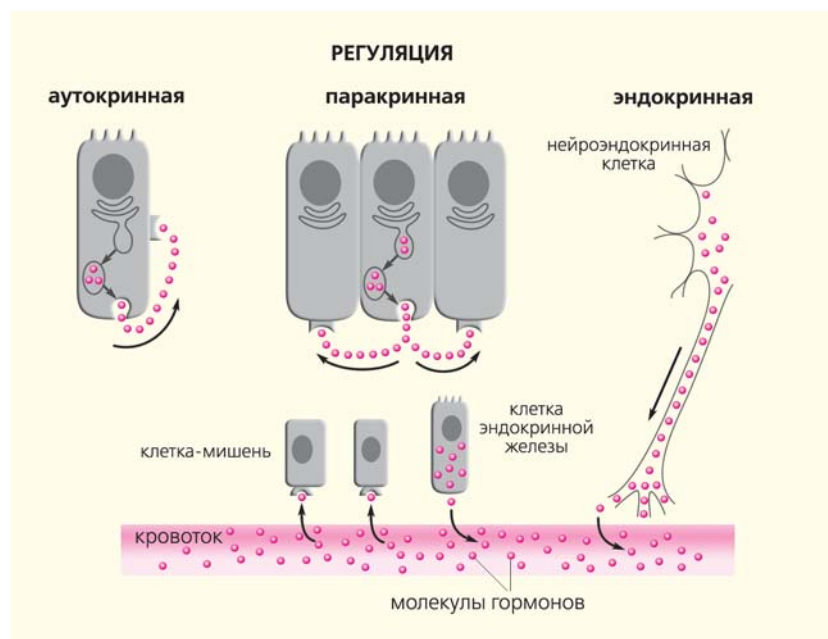


Рис.1. Основные типы межклеточных взаимодействий.

\* Лауреаты Нобелевской премии 1998 года. *Ванш АФ.* По физиологии или медицине — Ф. Мьюрэд, Р.Фёрчготт, Л. Игнарро // Природа. 1999. №1. С.97—100.

гуляторной молекулой он стал уже на заре жизни. На такую возможность указывает замечательное открытие: оказалось,  $H_2S$  играет центральную роль в организации внутриклеточных процессов у дрожжей, где он синхронизирует рост и деление клеток. Давно известно также участие  $H_2S$  в хемосинтезе у серобактерий. Эти организмы, во множестве встречающиеся в некоторых водоемах, насыщенных  $H_2S$  (например, в глубинных слоях Черного моря), получают энергию за счет окисления сероводорода.

Какую функцию выполняет эндогенный  $H_2S$  в живых объектах, зависит от его количества: в миллимолярных концентрациях он служит для анаэробных бактерий донором электронов и энергетическим суб-

стратом (хемосинтез); при микромолярном уровне у аэробных организмов регулирует окислительно-восстановительный баланс, а при еще более низком содержании работает как сигнальная молекула у прокариот и эукариот. Так,  $H_2S$  синтезируется и действует на сосуды почти всех видов позвоночных животных: рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих [2].

По месту действия сигнальные молекулы делят на аутокринные, паракринные и гормоны (см. рис.1). Аутокринные факторы (простагландины, аденозин, фактор активации тромбоцитов и др.) проявляют активность в тех же клетках, которые их продуцируют. Паракринные факторы, к которым относятся нейромедиато-

ры, обычно влияют, как упоминалось, на соседние нейроны. Газомедиаторы активны и там, где синтезируются, и в соседних клетках, т.е. работают как паракринные и аутокринные факторы. Только гормоны высвобождаются из эндокринных клеток в кровяное русло и действуют на отдаленные ткани и органы.

### Биосинтез и катаболизм сероводорода

В организме  $H_2S$  в основном синтезируют два фермента (рис.2) — цистатионин- $\beta$ -синтаза (ЦБС) и цистатионин- $\gamma$ -лиаза (ЦГЛ). Оба они регулируют метаболизм аминокислот, содержащих серу, и имеются у бактерий, многих беспозвоночных

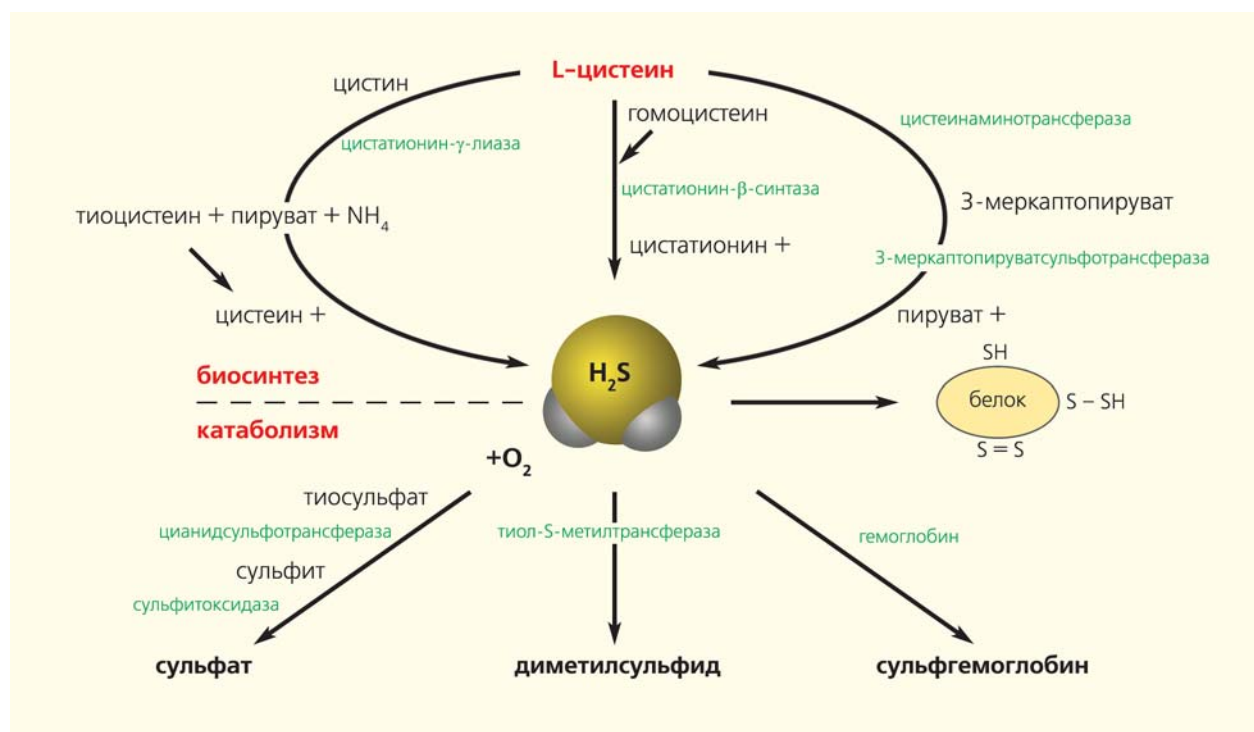


Рис.2. Пути синтеза и катаболизма  $H_2S$ . Цистатионин- $\gamma$ -лиаза катализирует преобразование цистина до тиоцистеина, пирувата и аммиака; тиоцистеин затем неферментативно превращается в цистеин и  $H_2S$ . Цистатионин- $\beta$ -синтаза конденсирует гомоцистеин с цистеином, и образуются цистатионин и  $H_2S$ . Цистеинаминотрансфераза превращает цистеин и  $\alpha$ -кетоглутарат в 3-меркаптопируват, который подвергается дальнейшему метаболизму ферментом 3-меркаптопируватсульфотрансферазой с образованием  $H_2S$  и пирувата. Окисление  $H_2S$  до тиосульфата — неферментативный процесс, связанный с дыхательной электронной цепью в митохондриях. Тиосульфат через ряд реакций преобразуется в сульфит, а затем в сульфат. Второй путь метаболизма  $H_2S$  — метилирование с образованием диметилсульфида. Наконец,  $H_2S$  связывается гемоглобином, формируя сульфгемоглобин.  $H_2S$  может модифицировать белковые молекулы: восстанавливать дисульфидные связи ( $S=S$ ), присоединяться к тиоловым группам ( $-SH$ ), в результате чего они превращаются в  $-SSH$ .



и у млекопитающих. Главным предшественником  $H_2S$  служит L-цистеин, который может поступать из пищи, образовываться из L-метионина или в результате распада белков. У млекопитающих больше всего ЦБС в мозге (особенно в клетках Пуркинье мозжечка и в гиппокампе — отделе, ответственном за обучение и память). Другой фермент, ЦГЛ, преобладает в периферических тканях: почках, печени и в стенках кровеносных сосудов. В печени многих видов животных, включая человека, есть тот и другой фермент, притом в большом количестве [2, 6].

Активность ЦБС в мозге зависит от внутриклеточного кальция и белка кальмодулина, связывающего  $Ca^{2+}$ . Следовательно, можно предполагать, что  $H_2S$  синтезируется в ответ на вход катионов кальция в клетку.

Со снижением активности ЦБС связана гомоцистеинурия — наследственная болезнь, обусловленная мутациями в гене фермента. У больных в плазме и моче повышены концентрации гомоцистеина и метионина, а содержание цистатионина и цистеина ниже нормы. Болезнь проявляется умственной отсталостью, повреждениями хрусталика, мышечными и сосудистыми расстройствами.

У высших организмов ЦБС содержит гемовый остаток, который, видимо, служит сенсором и модулирует активность фермента, если меняется окислительно-восстановительный статус.

Дефицит активности второго фермента, ЦГЛ, вызывает у людей цистатионинемия (цистатионинурию) — ауточомное рецессивное заболевание. Оно связано с множественными мутациями в гене ЦГЛ или с недостатком витамина  $B_6$ , необходимого для функционирования и сопровождается повышенным уровнем цистатиона в плазме и моче. В большинстве случаев заболевание никак себя не проявляет, но иногда сопровождается умственной отсталостью.

Аминокислотная последовательность фермента идентична на 47—61% у млекопитающих, нематоды *Coenorhabditis elegans* и дрожжей, что говорит о филогенетической древности ЦГЛ.

Кроме ЦБС и ЦГЛ сероводород синтезируется еще одним ферментом — 3-меркаптопируватсульфотрансферазой, которая работает вместе с цистеин-аминотрансферазой (см. рис.2). Первый из них обнаружен в нейронах (в пирамидных клетках гиппокампа) и может оказывать существенный вклад в синтез  $H_2S$  в мозге [2].

**Катаболизм  $H_2S$**  включает несколько путей: окисление в митохондриях, метилирование в цитозоле и связывание с гемоглобином (см. рис.2). Окисление последовательно идет через образование промежуточных продуктов (тиосульфата и сульфита), и в конце является главный продукт — сульфат. Результатом метилирования становится диметилсульфид, а связывание с железом гемат дает сульфгемоглобин.

### Концентрация в тканях и механизмы

Предположение о физиологической роли сероводорода в тканях млекопитающих было впервые высказано в 1989 г. Основанием послужил высокий уровень  $H_2S$ , выявленный в мозге крыс и посмертных тканях человека. В дальнейших исследованиях плазмы крови и мозга разных животных несколькими аналитическими методами был количественно определен базовый уровень газа. Он оказался очень высоким: от 10 до 160 мкМ. Однако то был общий уровень сульфидов, а не только  $H_2S$ . Недавно с помощью высокочувствительных сенсоров установлено, что его концентрация в тканях находится в наномолярных пределах [2, 7, 8].

Судя по накопленным данным, уровень  $H_2S$  в тканях повышается только в ответ на специ-

фическую стимуляцию, притом локально и кратковременно. Затем его концентрация быстро снижается, так как он расщепляется ферментами, связывается с белками или реагирует с рядом соединений. Среди них такие опасные для клеток, как супероксидный радикал, перекись водорода, пероксинитриты, гипохлориты [6].

Один из основных механизмов действия  $H_2S$  — модификация белков. Происходит это за счет восстановления дисульфидных связей ( $S=S$ ) или присоединения атома серы к тиоловой группе,  $-SH$ , в результате чего она превращается в гидроперсульфидный остаток,  $-SSH$  (см. рис.2) [2, 9]. И та и другая модификации приводят к изменению конформации и функциональной активности белков. А это могут быть белки-каналы, отвечающие за пассивный транспорт ионов через мембрану, а также мембранные и внутриклеточные ферменты, обеспечивающие синтез вторичных посредников, фосфорилирование и дефосфорилирование различных белков.

### Эффекты, эфффекты, эфффекты

**В нервной системе.** В 1996 г. впервые был выявлен синтез ЦБС в мозге крысы, а именно в гиппокампе, мозжечке, коре и стволе. В гиппокампе, как потом выяснилось,  $H_2S$  повышает активность НМДА (N-метил-D-аспарат)-рецепторов, работа которых зависит от глутаминовой аминокислоты — наиболее распространенного возбуждающего нейромедиатора в мозге (рис.3, 4) [10]. Оказалось,  $H_2S$  облегчал индукцию долговременного возбуждения в гиппокампе крысы. Оно заключается в усилении ответа (он может длиться часы и сутки) постсинаптического нейрона после кратковременной высокочастотной стимуляции пресинаптического нейрона.

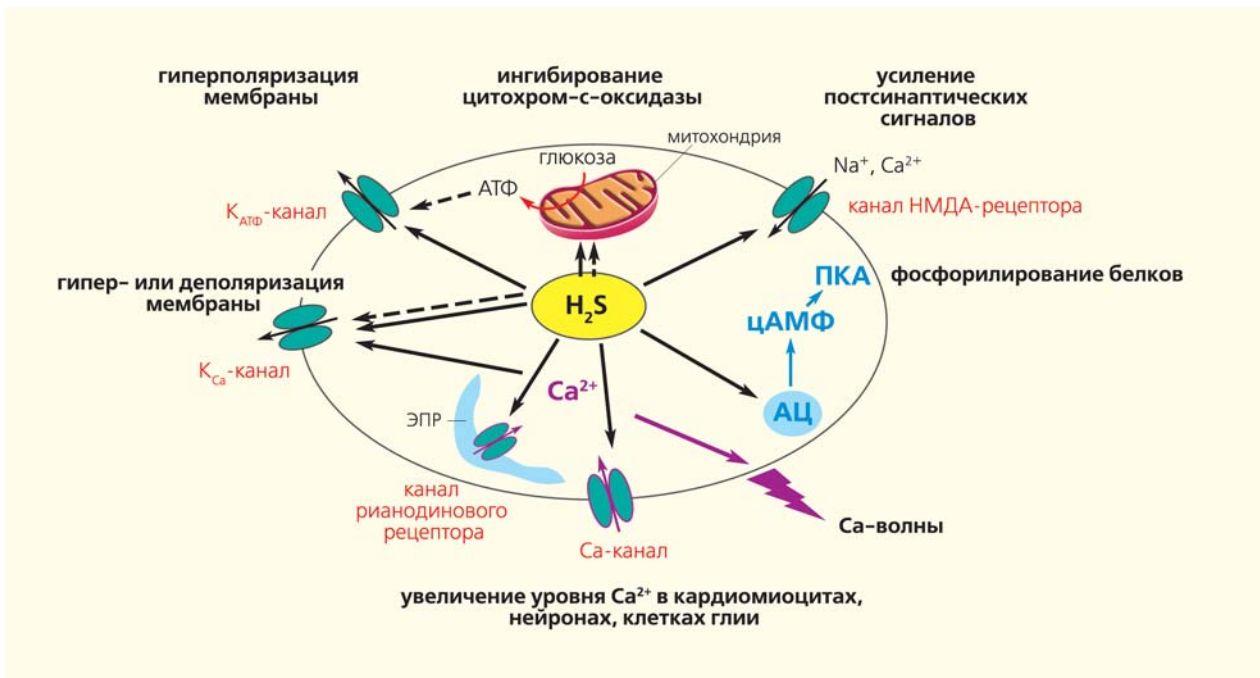


Рис.3. Мишени и клеточные эффекты сероводорода. На рисунке представлены процессы, происходящие в плазматической мембране клетки, митохондриях и эндоплазматическом ретикулуме (ЭПР). Сплошными стрелками показано активирующее, а пунктирными — ингибирующее влияние  $H_2S$  на ионные каналы, ферменты, процесс клеточного дыхания. АЦ — аденилатциклаза, фермент, продуцирующий циклический аденозинмонофосфат (цАМФ), который, в свою очередь, активирует протеинкиназу А (PKA), НМДА — N-метил-D-аспартат.

$H_2S$  влияет и на  $Ca$ -каналы — активирует их. Благодаря этому увеличивается уровень внутриклеточного кальция, играющего очень важную роль в межклеточных коммуникациях. Кратковременный рост концентрации ионов  $Ca^{2+}$  вызывает выброс нейромедиатора из окончаний нейрона и активацию внутриклеточных сигнальных каскадов (см. рис.3). Но если кальций накопился в клетке чрезмерно, становится неизбежным ее апоптоз.

Кроме нейронов  $H_2S$  способен влиять также и на глиальные клетки (невозбудимые клетки, окружающие нейроны). В последнее время появляется все больше свидетельств их роли в обеспечении функций центральной нервной системы. Так вот, за счет действия  $H_2S$  усиливается входящий  $Ca$ -ток и увеличивается уровень кальция в астроцитах (одном из типов клеток глии). Примечательно, что это увеличение, подобно волне, рас-

пространяется в соседние клетки. Считают, что  $Ca$ -волны обеспечивают взаимодействия не только между глиальными клетками, но и между клетками глии и нейронами. В итоге модулируется нейрональная возбудимость (см. рис.3) [8].

Мы выяснили, что  $H_2S$  влияет и на периферическую нервную систему. Оказалось, он усиливает высвобождение медиатора из двигательных нервных окончаний мотонейронов спинного мозга. По нашим данным, этот эффект обусловлен активацией внутриклеточных  $Ca$ -каналов — рианодиновых рецепторов, расположенных в мембране эндоплазматического ретикулума, — и, как следствие, накоплением кальция в нервном окончании (см. рис.3) [11].

Видимо,  $H_2S$  также играет роль в восприятии и передаче болевой информации. Если ввести этот газомедиатор или его предшественник L-цистеин в периферические ткани или кишеч-

ник, усиливается двигательный ответ животного. Он не просто усиливается, а сопровождается аллодинией (болезненной чувствительностью к неболевым стимулам) и гипералгией (усилением чувствительности к болевым стимулам). В основе этого эффекта  $H_2S$  лежит активация  $Ca$ -каналов как в периферических чувствительных нервных окончаниях, воспринимающих болевой стимул, так и в чувствительных нейронах задних корешков спинного мозга, передающих болевую информацию в головной мозг [8].

При нейродегенеративных заболеваниях человека, для которых характерна медленно прогрессирующая гибель определенных групп нервных клеток, тоже выявлено участие  $H_2S$ . Из этой большой группы патологий наиболее известны болезни Альцгеймера и Паркинсона. При болезни Альцгеймера содержание  $H_2S$  в мозге снижено на ~55%, и этот дефицит

вызван падением концентрации S-аденозилметионина на ~70%. Напомним, это соединение активирует фермент цистатионин-β-синтазу (ЦБС), и, если ее недостает в нейронах, меньше синтезируется и сероводорода.

Другое дело при синдроме Дауна — болезни, обусловленной трисомией 21-й хромосомы. Именно в ней расположен ген ЦБС, и поэтому за счет его тройного количества повышен синтез ЦБС, а следовательно, и H<sub>2</sub>S в мозге. Видимо, избыток H<sub>2</sub>S оказывает токсичное воздействие на нейроны и вносит свой вклад в формирование олигофрении у больных [2, 6–8].

**В сердечно-сосудистой системе.** Как и другие газообразные посредники (NO и CO), сероводород оказывает расслабляющее действие на гладкие мышцы кровеносных сосудов, желудочно-кишечного тракта, репродуктивной и дыхательной систем (см. рис.4). В сосудистой системе за синтез H<sub>2</sub>S отвечает главным образом ЦГЛ, который синтезируется в эндотелии [9]. Считают, что H<sub>2</sub>S наряду с NO — это эндотелиальные факторы расслабления сосудов (образу-

ются в эндотелии и действуют на гладкомышечные клетки). Если эти факторы отсутствуют, сосуды не расширяются и артериальное давление повышается. Действительно, у мышей с выключенным геном ЦГЛ к 12 неделям жизни развивается стойкая гипертензия, сходное состояние возникает у мышей с неработающим геном эндотелиальной NO-синтазы — фермента синтеза оксида азота [12].

В кровеносных сосудах H<sub>2</sub>S активирует АТФ-зависимые K-каналы (K<sub>АТФ</sub>-каналы). В естественных условиях они начинают действовать, когда снижается уровень АТФ в клетке. На фоне влияния H<sub>2</sub>S через K<sub>АТФ</sub>-каналы ионы калия выходят из клетки, а это влечет за собой гиперполяризацию мембраны (увеличение мембранного потенциала) гладкомышечных клеток. Вслед за этим ингибируются потенциал-зависимые Ca-каналы, снижается внутриклеточная концентрация кальция и стенки сосуда расслабляются (см. рис.3) [13].

Все это позволяет предположить, что эндогенный путь от ЦГЛ до H<sub>2</sub>S вовлечен в патофизиологические процессы при гипертензии и других сосудис-

тых заболеваниях. Например, у крыс со спонтанно возникающей гипертензией снижен уровень сульфидов в плазме крови и подавлена активность ЦГЛ. При введении этим животным H<sub>2</sub>S артериальное давление снижается, уменьшаются сосудистые изменения, а также восстанавливается активность ЦГЛ [14].

Еще один сосудистый эффект H<sub>2</sub>S связан с хеморецепторами, локализованными в каротидном синусе (месте разветвления сонной артерии на наружную и внутреннюю). Эти рецепторы играют решающую роль в регуляции глубины и частоты дыхания в ответ на снижение уровня кислорода в крови. При гипоксии падает активность Ca-активируемых калиевых каналов (K<sub>Ca</sub>-каналов) высокой проводимости, в результате мембрана деполяризуется и хеморецепторы возбуждаются. K<sub>Ca</sub>-каналы очень важны, они контролируют многие функции возбудимых клеток (нейронов, мышечных и эндокринных клеток): электрическую активность, секрецию гормонов и нейромедиаторов, ритмы сна и бодрствования. В каротидном синусе H<sub>2</sub>S уменьшает активность K<sub>Ca</sub>-каналов и таким образом может регулировать дыхание в условиях гипоксии (см. рис.3, 4).

В сердце, как следует из опытов на крысах, *in vivo* и *in vitro* H<sub>2</sub>S оказывает отрицательное инотропное влияние, т.е. уменьшает силу сокращения кардиомиоцитов. Это может происходить как за счет блокирования потенциал-зависимых Ca-каналов, так и за счет ингибирования фермента аденилатциклазы. А она продуцирует циклический АМФ — важный вторичный посредник, регулирующий сократимость кардиомиоцитов (см. рис 3, 4) [14].

Большое количество исследований свидетельствует о кардиопротекторном действии H<sub>2</sub>S при инфаркте миокарда и гипоксии. При инфаркте нарушается кровоснабжение сердца из-за поражения коронарных арте-

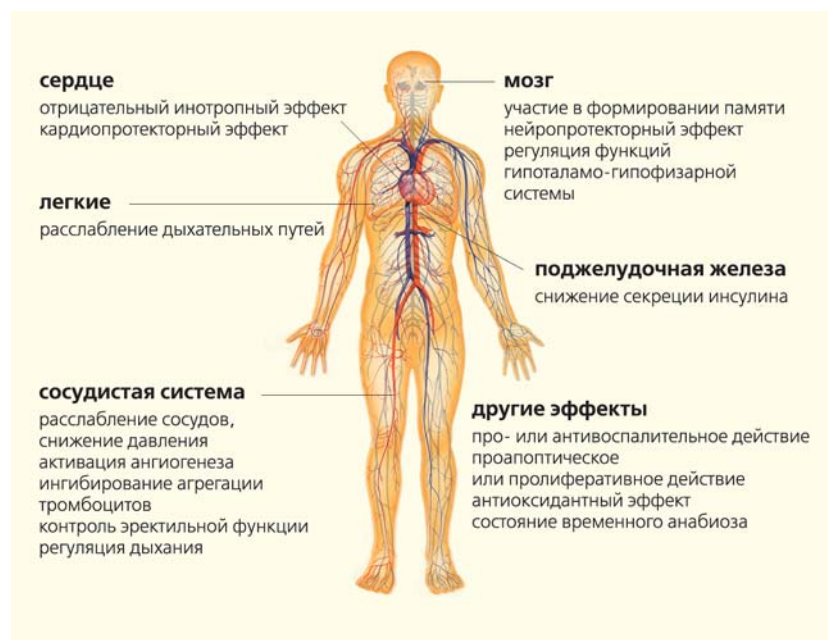


Рис.4. Основные физиологические эффекты сероводорода.

рий, что сопровождается развитием некроза в миокарде. В экспериментально вызванном инфаркте у крыс  $H_2S$  снижал область некроза и уменьшал их смертность. Видимо, сосудорасширяющее действие  $H_2S$  приводит к усилению коронарного кровотока при ишемических заболеваниях и снижает клеточные повреждения. Кардиопротекторный эффект  $H_2S$  основан на активации АТФ-зависимых калиевых каналов ( $K_{ATP}$ -каналов). Кроме того, имеются данные о стимуляции сероводородом ангиогенеза — образования новых кровеносных сосудов за счет усиленной миграции эндотелиальных клеток. В этом тоже проявляется кардиопротекторный эффект (см. рис. 4) [14].

Предполагают, что кардиопротекторная роль чеснока — это следствие выделения  $H_2S$ . Оказывается, ряд сульфидсодержащих соединений в продуктах питания (грибах, луке, чесноке) расщепляются в кишечнике и образуют органические полисульфиды, которые затем выделяют  $H_2S$  в ходе дальнейшего метаболизма [14].

С сосудами связана еще и эректильная функция. Интересные результаты были получены в исследованиях препаратов пещеристых тел человека, выделенных в ходе операций по изменению пола. Оказалось, ЦБС и ЦГЛ — ферменты, синтезирующие  $H_2S$ , — работают в мышечных трабекулах и гладкомышечных клетках артерий пениса.  $H_2S$  и L-цистеин (предшественник  $H_2S$ ) расслабляли полоски пещеристых тел, тогда как ингибиторы ферментов усиливали сократимость полосок в ответ на электрическое раздражение [15]. Из этого следует, что сигнальный путь от L-цистеина до  $H_2S$  участвует в расслаблении гладких мышц пещеристых тел и, значит, в эректильной функции. До этих результатов такая способность была выявлена у NO, исследования механизмов действия которого привели к разработке препарата виагра.

Он повышает уровень циклического гуанозинмонофосфата в гладкомышечных клетках, что ведет к расслаблению пещеристых тел и увеличению кровотока в половом члене. Исследователи полагают, что, изучив мишени действия  $H_2S$ , можно выявить комплексные механизмы, лежащие в основе патологии эректильных функций, и создать новый препарат для их лечения.

#### В эндокринной системе.

О диабете наслышаны, пожалуй, все, и все знают, что виновница болезни — поджелудочная железа,  $\beta$ -клетки которой вырабатывают мало гормона инсулина. Именно в этих клетках в большом количестве имеются уже упомянутые  $K_{ATP}$ -каналы. Они-то и регулируют выделение инсулина, если меняется концентрация глюкозы. В нормальных условиях увеличение концентрации ведет к накоплению АТФ, блокированию  $K_{ATP}$ -каналов, деполаризации мембраны, входу  $Ca^{2+}$  и секреции инсулина. У крыс с экспериментально вызванным диабетом содержание L-цистеина, а также и активность ЦБС и ЦГЛ повышены, и поэтому  $H_2S$  продуцируется в избытке. Если у таких животных подавить синтез  $H_2S$ , увеличивается уровень инсулина и концентрация сахара в крови снижается. Очевидно,  $H_2S$ , активируя  $K_{ATP}$ -каналы, снижает секрецию инсулина, а следовательно, повышение концентрации газомедиатора может способствовать развитию диабета (см. рис. 3, 4) [2, 6, 7].

Другие эндокринные эффекты  $H_2S$  связаны с регуляцией ответа гипоталамо-гипофизарной системы на стресс. В экспериментах установлено, что аппликация  $H_2S$  и S-аденозилметионина (активатора ЦБС) снижает содержание кортикотропного гормона в срезах гипоталамуса крысы. Кроме того, S-аденозилметионин препятствует повышению концентрации глюкокортикоидов в плазме крови, вызванному стрессом. В основе

действия  $H_2S$  может лежать активация  $K_{Ca}$ -каналов высокой проводимости. В опытах на культуре гипофизарных клеток крысы регистрировали активность одиночных каналов и выяснили, что  $H_2S$  повышает вероятность их открытого состояния, по-видимому, из-за модификации белковых субъединиц канала (см. рис. 3, 4) [16].

#### Другие способности

Перечисленными эффектами действие  $H_2S$  не ограничивается. В целом ряде исследований он выказал себя не просто медиатором воспаления, а провоспалительным агентом. В опытах у мышей с вызванными воспалением и сепсисом содержание ЦГЛ и  $H_2S$  становилось больше нормы. Когда активность фермента ЦГЛ подавляли, снижались и воспалительный ответ, и смертность животных. Кроме сероводорода, действуют как провокаторы воспаления и продукты его катаболизма — сульфиты, весьма токсичные соединения. Известно, что они стимулируют продукцию активных форм кислорода в нейтрофилах, адгезию клеток к эндотелию, образуют токсичные радикалы, связываясь с пероксинитритами. Высокие концентрации сульфитов обнаружены в крови пациентов с пневмонией [6]. Выходит, сверхпродукция  $H_2S$  при воспалительных процессах может способствовать повреждению тканей. Однако не все так однозначно. В опытах *in vitro* эффекты  $H_2S$  были прямо противоположными. Например, доноры сероводорода ингибировали адгезию лейкоцитов к эндотелию, вызванную введением крысам аспирина, а блокированием ЦГЛ достигался обратный эффект. Видимо, роль  $H_2S$  в воспалении определяется его концентрациями: если они низки, обеспечена неспецифическая защита, а сверхпродукция приводит к воспалению и повреждению тканей (см. рис. 4) [6, 7].

Нормальная жизнь многоклеточного организма зависит от соотношения пролиферации (размножения) и смерти клеток. Все больше данных свидетельствуют об участии  $H_2S$  в этом важнейшем процессе. Газомедиатор эффективно модулирует или пролиферацию клеток, или апоптоз (см. рис. 4). Например, после ишемического воздействия сероводород усиливает пролиферацию изолированных кардиомиоцитов крысы, а значит, проявляет защитный эффект. Пролиферацией можно объяснить и другие результаты. Введение даже не самого  $H_2S$ , а его предшественника — L-цистеина — уменьшало область некроза при вызванном инфаркте у крысы. Если же синтез  $H_2S$  не допускался — был выключен фермент ЦГЛ, — повреждение сердечной мышцы увеличивалось. Возможно,  $H_2S$  участвует также в патогенезе болезни Паркинсона, а именно, гибели дофаминергических нейронов. В опытах на культуре этих клеток  $H_2S$  предотвращал повреждение и апоптоз, вызванные ротеноном — токсином, с помощью которого моделируют болезнь Паркинсона *in vitro* и *in vivo* [6, 7].

Другие примеры отражают эффекты противоположного характера. Аппликация  $H_2S$  и сверхпродукция ЦГЛ вызвали апоптоз гладкомышечных клеток аорты человека.  $H_2S$  губительно действовал на  $\beta$ -клетки поджелудочной железы, секретирующие инсулин. Этим и можно объяснить негативную роль газомедиатора при диабете. Стимуляция апоптоза основана на включении сероводородом внутриклеточных ферментов (митоген-активируемых протеинкиназ), которые регулируют экспрессию генов, деление и дифференцировку клеток. Свойство  $H_2S$  способствовать апоптозу могло бы послужить для предотвращения пролиферации клеток при таких заболеваниях, как атеросклероз, сосудистая окклюзия, гиперплазия

внутренней оболочки сосудов. Видимо, оба эффекта  $H_2S$  зависят от концентрации газа при различных состояниях, и поэтому запускаются разные сигнальные каскады [6, 7].

$H_2S$  — очень реактивная молекула, она может легко вступать в реакции с другими соединениями, особенно с активными формами кислорода и азота. Как раз этим обусловлен антиоксидантный эффект  $H_2S$  (см. рис.4). Газ реагирует по крайней мере с четырьмя очень активными формами: супероксидным радикалом, перекисью водорода, пероксинитритом ( $ONOO^-$ ) и гипохлоритом. В связанном виде они уже не угрожают повреждениями белкам и липидам. Такой защитный эффект  $H_2S$  может лежать в основе кардио- и нейропротекторного действия. Не исключено, что дефицит  $H_2S$  у пациентов с болезнью Альцгеймера приводит к увеличению концентрации активных форм кислорода и нарушению функций нейронов и глиальных клеток.

Недавно было открыто совершенно неожиданное влияние  $H_2S$ : он вызывает состояние временного анабиоза, сходного с состоянием спячки, или гибернации. У мышей, помещенных в атмосферу, содержащую 20–80 ppm сероводорода, снижались температура тела и скорость метаболизма. Животные прекращали двигаться и впадали в бессознательное состояние. Мыши, возвращенные в нормальные условия, просыпались, и у них восстанавливались все физиологические функции без заметных нарушений [17].

Может быть, такой эффект  $H_2S$  связан с особенностями его влияния на дыхательную цепь митохондрий. Дело в том, что при умеренных концентрациях этот газомедиатор обратимо связывается с ферментом цитохром-с-оксидазой, восстанавливающей кислород, и замедляет работу энзима. В низких концентрациях  $H_2S$  ингибирует активность фермента незначи-

тельно, а кроме того, будучи восстановителем, может служить источником электронов во время гибернации. Подобное действие  $H_2S$  может заинтересовать специалистов, занимающихся сохранением органов, предназначенных для трансплантации, — ведь органы гибернирующих животных устойчивы к повреждению в гипоксических и ишемических условиях.

### Взаимодействие газов

В последние годы подтверждено взаимодействие ныне признанных газообразных посредников — NO, CO и  $H_2S$ . Осуществляется оно как на уровне регуляции ферментов синтеза, так и мишеней их действия. Например, NO и CO, связываясь с ЦБС, модулируют его каталитическую активность. Сероводород же ингибирует активность ферментов, синтезирующих NO, — эндотелиальный фактор расслабления стенок аорты и других крупных сосудов [5]. Однако расслабление брыжеечных артерий (более значимых для регулирования периферического давления крови) в основном связано с  $H_2S$ . Видимо, от типа сосудов и вида животного зависит, какой именно расслабляющий фактор будет работать. Кроме того, механизмы действия  $H_2S$  и NO в сосудах различны. Эффекты NO опосредуются через растворимую форму гуанилатциклазы и модуляцию  $K_{Ca}$ -каналов, а  $H_2S$  — через гиперполяризацию, которая обеспечивается активностью  $K_{ATP}$ -каналов [9, 12].

Все три газа облегчают индукцию долговременного возбуждения в гиппокампе, но разными механизмами. Предполагают, что NO и CO действуют на пресинаптическом уровне и усиливают секрецию медиатора глутамата, тогда как  $H_2S$  меняет активность постсинаптических НМДА-рецепторов. NO, CO и  $H_2S$  могут активировать  $K_{Ca}$ -каналы высокой проводимости

посредством разных химических модификаций канального белка. NO модифицирует сульфгидрильные группы, CO — остатки гистидина, а H<sub>2</sub>S восстанавливает дисульфидные связи [2, 18].

Несмотря на общность свойств, а часто и схожесть функций, механизмы и мишени действия газообразных посредников отличаются, но при этом газы тесно связаны друг с другом. Поэтому необходимо рассматривать газомедиаторы не по отдельности, а как триумвират молекул, работающих вместе и регулирующих клеточные процессы в норме и патологии.

Отметим: NO, CO и H<sub>2</sub>S — единственные газы, интересующие физиологов. Выясняется, что на физиологические функции влияет NH<sub>3</sub>; сужает сосуды, вероятно, за счет изменения внутриклеточного pH. SO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O, будучи продуктами клеточного и бактериального метаболизма, тоже не бездействуют. Напри-

мер, SO<sub>2</sub> снижает кровяное давление у крыс и усиливает адгезию нейтрофилов в культуре эпителиальных клеток, а N<sub>2</sub>O ингибирует нейротрансдукцию, опосредованную через глутаминовую аминокислоту, т.е. служит антагонистом НМДА-рецепторов.

\* \* \*

Несмотря на большое число исследований, наши знания о роли H<sub>2</sub>S в нормальных и патологических процессах во многом еще фрагментарны. Поэтому необходимы поиски механизмов действия этого газа в разных типах клеток. Кроме того, в такие исследования полезно было бы привлечь генетиков.

От очередного открытого медиатора мы вправе ожидать, что он послужит медицине. Например, соединения, высвобождающие H<sub>2</sub>S, были бы очень нужны для лечения воспалительных и других заболеваний. Одно из подобных соединений уже син-

тезировано. Это производное мезаламина, которое проявляет обезболивающий и противовоспалительный эффекты в опытных вариантах воспаления кишечника. Получен S-диклофенак (производное известного нестероидного противовоспалительного средства), содержащий дополнительную химическую группировку. Именно она способствует высвобождению H<sub>2</sub>S при воспалении (конечно, экспериментально вызванном) кишечника у крыс. Модифицированный диклофенак действует гораздо сильнее обычного и с менее выраженными побочными эффектами в желудочно-кишечном тракте [6, 7].

Есть надежда на серьезные успехи в расшифровке роли, механизмов и мишеней H<sub>2</sub>S. Тогда можно будет использовать полученные результаты для создания разных фармакологических средств, а не только противовоспалительных. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 09-04-00748) и Ведущей научной школы (НШ-5250.2010.4).**

## Литература

1. Reiffenstein R.J.H., Hulbert W.C., Roth S.H. // Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol. 1992. V.32. P.109—134.
2. Wang R. Signal Transduction and the Gasotransmitters. NO, CO and H<sub>2</sub>S in Biology and Medicine. Totowa, 2004.
3. Зефирова А.Л. // Вестник Росс. АМН. 2005. Т.1. С.1—4.
4. Зефирова А.Л., Уразаев А.Х. // Успехи физиол. наук. 1999. Т.30. №1. С.547—572.
5. Ignarro L.J. et al. // Circ. Res. 1987. V.61. P.866—879.
6. Lowicka E, Beltowski J. // Pharmacol Rep. 2007. V.59. №1. P.4—24.
7. Szabó C. // Nature Rev. Drug Discovery. 2007. V.6. P.917—935.
8. Tan B.H., Wong P.T.-H., Bian J.-S. // Neurochem. Int. 2010. V.56. P.3—10.
9. Gadalla M.M., Snyder S.H. // J. Neurochem. 2010. V.113. P.14—26.
10. Abe K., Kimura H. // J. Neurosci. 1996. V.16. P.1066—1071.
11. Герасимова Е.В., Ситдикова Г.Ф., Зефирова А.Л. // Нейрохимия. 2008. Т.25. №1—2. С.138—145.
12. Yang G., et al. // Science. 2008. V.322. P.587—590.
13. Zhao W., Zhang J., Lu Y., Wang R. // EMBO J. 2001. V.20. P.6008—6016.
14. Elsey D.J., Fowkes R.C., Baxter G.F. // Cell Biochemistry and Function. Cell Biochem Funct. 2010. V.28. P.95—106.
15. d'Emmanuele di Villa Bianca R. et al. // PNAS (USA). 2009. V.106. №11. P.4513—4518.
16. Sitdikova G.F., Weiger T.M., Hermann A. // Pflugers Arch. — Eur. J. Physiol. 2010. V.459. P.389—397.
17. Blackstone E., Morrison M., Roth M.B. // Science. 2005. V.308. P.518.
18. Ситдикова Г.Ф., Зефирова А.Л. // Росс. физиол. журн. им.И.М.Сеченова. 2006. Т.97. №7. С.872—882.

# Как увидет «нано»?

О.С.Соколова

В начале XXI в. в печати и масс-медиа появилось новое слово «нанотехнологии». Очень быстро во всем мире выросло число программ и публикаций, включающих это понятие. Сегодня в поисковой строке «nanoparticle» более 1.3 млн документов. Люди, далекие от биологии или физики, часто интересуются: что это за «нано» такое, которым занимаются на государственном уровне?

Наночастицы не возникли одновременно с термином «нанотехнологии». Как герой Мольера не знал, что говорит прозой, так и в наше время многие не догадываются, что наночастицы существуют миллионы лет и ученые начали их изучать еще в XIX в. Наночастица — это любая частица с размерами в нанометровом диапазоне. Этим условиям удовлетворяют биологические мембраны, макромолекулы, частицы коллоидного серебра и оксидов металлов, нанотрубки, фуллерены и многие другие *нанообъекты*.

Для того, чтобы понять, как устроены наночастицы, необходимо опуститься на уровень в миллиард раз меньший, чем окружающий нас мир. До сих пор, к сожалению, не изобрели прибора, который бы позволил *in vivo* наблюдать за процессами, происходящими на молекулярном уровне. В структурной биологии все еще пользуются разрушающими методами: рентгеноструктурным анализом, ядерно-магнитным резонансом (ЯМР), электронной микроскопией.



**Ольга Сергеевна Соколова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры биоинженерии биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — электронная микроскопия, структурная биология.

## Милли-микро-нано

Начнем спуск в мир «нано».

*Миллиметр* — одна тысячная часть метра ( $10^{-3}$  м), которую можно увидеть невооруженным глазом на обыкновенной линейке. Миллиметровая бумага, миллиметры ртутного столба, скорость оседания эритроцитов: все эти значения нам давно знакомы, мы сталкиваемся с ними в повседневной практике.

*Микрометр* ( $10^{-6}$  м) — одну миллионную часть метра — уже не увидишь невооруженным глазом. Размер около 1 мкм имеют клетки прокариот. Клетки эукариот в 20–40 раз больше, однако их все равно не разглядеть без помощи светового микроскопа.

Основная характеристика этого прибора, определяющая качество его оптической системы, — разрешающая способность, которая определяется как минимальное расстояние между двумя точками изображения объекта, наблюдаемыми раздельно. Так как человечес-

кий глаз наиболее чувствителен к желто-зеленой части спектра, в световой микроскопии используются светом с длиной волны около 550 нм. В этих условиях теоретический предел разрешения равен половине длины волны, т.е. 225 нм. Наночастицы с этим разрешением не очень-то разглядишь.

*Нанометр* — одна миллиардная часть метра ( $10^{-9}$  м). Официального определения наночастицы до сих пор не существует, поэтому большинство исследователей и производителей пользуются документом Британского института стандартов (BSI), который в 2008 г. определил наночастицы, как частицы, имеющие одно или более измерений не более 100 нм [1].

В структурной биологии помимо нанометра распространена единица *ангстрем* (ångström), которая, строго говоря, не входит в систему «СИ». Символ для обозначения этой единицы — Å. Эта величина была названа в честь шведского физика Андер-

са Йонаса Ангрема (1814—1874), известного своими работами по спектроскопии, астрофизике и магнетизму. Ангстрем часто употребляется в научной литературе для обозначения длин химических связей, длины волны электромагнитного излучения и разрешения атомных и молекулярных структур различных наночастиц.

### Как увидеть наночастицы?

Наночастицы можно разглядеть и сфотографировать только с применением электронного микроскопа. Наиболее широко для визуализации наночастиц используют метод трансмиссионной (просвечивающей) электронной микроскопии (ПЭМ).

Разрешающая способность электронного микроскопа существенно увеличена по сравнению со световым. Длина волны электронов находится в диапазоне  $10^{-12}$  м и зависит от величины ускоряющего напряжения. Микроскопы с ускоряющим напряжением 300 кВ должны бы увеличивать теоретическое разрешение до долей Å, однако на практике этого не происходит из-за различных aberrаций (искажений изображения линзой микроскопа); различают сферическую, хроматическую aberrацию и астигматизм.

Несмотря на явную геометрическую аналогию в построении оптических схем светового и электронного микроскопов, между ними есть существенные различия. Одно из них состоит в механизме формирования контраста изображения. В световом микроскопе окрашенный препарат оптически больше соответствует абсорбционной решетке, так как в нем избирательно поглощается свет определенных участков спектра, а в электронном — фазовой решетке, поскольку в нем происходит в основном рассеяние (отклонение траекторий) электронов от первоначального направления. Чем выше концентрация тяже-

лых атомов в объекте, тем сильнее рассеиваются электроны. Если мы имеем дело с биологической макромолекулой, в которой тяжелых атомов нет, то их (осмий, уран и свинец) искусственно вводят на стадии контрастирования. Электроны, рассеянные на большие углы, задерживаются апертурной диафрагмой, расположенной в задней фокальной плоскости объектива, и не участвуют в формировании изображения. Причем чем меньше диаметр диафрагмы, тем больше рассеянных электронов задерживается и тем выше контраст изображения.

Преимущество просвечивающей электронной микроскопии перед другими методами структурной биологии заключается в том, что она позволяет визуализировать не только трехмерную структуру, но и динамику (конформационные перестройки) самых разнообразных нанобиологических объектов с разрешением от 2—5 нм до атомного (1.8 нм). Одновременно в ПЭМ отсутствуют многие недостатки таких методов, как рентгеноструктурный анализ и ядерно-магнитный резонанс: в нем нет лимитирующего размера частиц, не обязательно наличие кристаллов, количество и концентрация используемого материала достаточно малы. Модификация метода — крио-ПЭМ — позволяет наблюдать макромолекулы в нативном водном окружении в состоянии, близком к физиологическому.

### Немного истории

Просвечивающую электронную микроскопию биологических макромолекул начали разрабатывать более 40 лет назад в Великобритании, США и СССР. Вначале ученые изучали лишь изображения молекул крупных белков, окрашенных негативно солями тяжелых металлов (в качестве примеров можно упомянуть рибосомальные субъединицы, бактериофаги). Эти изобра-



Рис. 1. Трехмерная реконструкция части оболочки вируса полиомы (модель 80-х годов).

жения идентифицировали и интерпретировали непосредственно на микрофотографии [2].

После того как исследователи догадались, что проекционные структуры — это суммарная плотность трехмерного объекта, стало возможным реконструировать трехмерные объекты по набору проекций с различными координатами [3]. Трехмерные реконструкции с конца 60-х до 80-х годов XX в. представляли собой вырезанные из пенопласта или оргстекла стопки, каждый слой которых соответствовал одной проекции (рис. 1). Только появление в середине 1990-х годов современных компьютеров с графическими программами избавило биологов от необходимости орудовать лобзиком.

В 80-х годах впервые применили криоэлектронную микроскопию, позволяющую изучать наночастицы, не окрашивая их, а помещая в моментально замороженный тонкий (около 0.5 нм) слой воды [4]. Этот метод позволил определить внутреннюю структуру молекул.

### Готовим образцы

Электронная микроскопия высокого разрешения — кропотливый процесс и для получения качественной трехмерной структуры требует определенной последовательности действий (рис. 2).



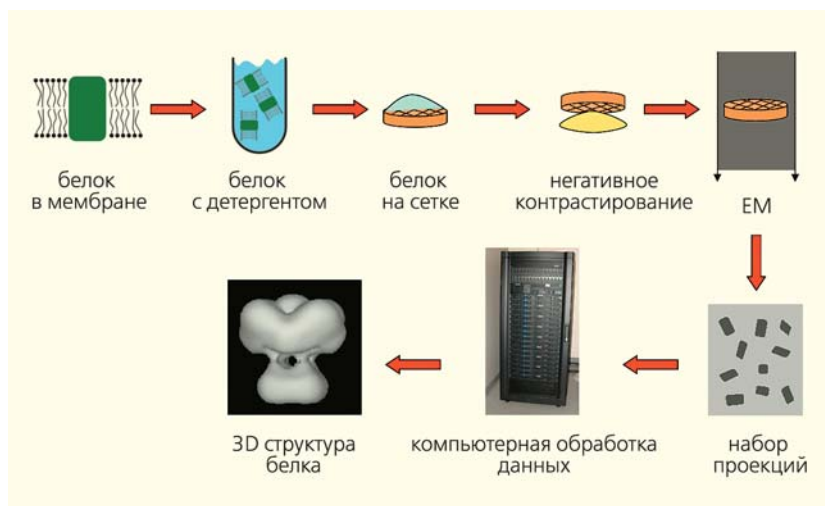


Рис.2. Схема подготовки образцов для получения трехмерной структуры белковой молекулы.

Во-первых, чтобы наблюдать отдельные частицы, белок необходимо получить в очищенном виде. Для этого клетки или ткани механически разрушают, мембраны растворяют в детергенте и применяют различные модификации хроматографического разделения. Чистота препарата и определяет получение структуры с высоким разрешением. Еще один критический параметр — концентрация. Для крио-ПЭМ необходим препарат с концентрацией 0.5–1.0 мг/мл, а для негативного контрастирования еще меньше — 0.05–0.1 мг/мл.

Во-вторых, образец нужно поместить в колонну электронного микроскопа. Для его просмотра используют сетки, сделанные из немагнитного материала — меди, никеля, платины (диаметр 3 мм и 200–400 ячеек на дюйм). Сверху сетку покрывают углеродной пленкой, получаемой при распылении графита в специальных установках. На эту пленку и помещаются объекты исследования (срезы, замороженные срезы, наночастицы, целые клетки либо двумерные кристаллы). Поскольку углерод гидрофобен, подложку обрабатывают в атмосфере тлеющего разряда, чтобы придать ей гидрофильные свойства для доступности водным растворам. Сетки, по-

крытые углеродом, помещают в специальную камеру прибора, где создается частичный вакуум. Когда между катодом и анодом подается высокое напряжение, разность потенциалов ионизирует газ, находящийся в камере. Негативно заряженные ионы осаждаются на углерод, придавая ему отрицательный заряд и гидрофильные свойства.

Хотя углеродная пленка очень тонкая (20 нм) и, как правило, не мешает визуализации объектов, в криомикроскопии используют сетки с отверстиями в углеродной подложке, которые уменьшают поглощение и рассеивание пучка электронов слоем углерода.

### Криомикроскопия

Возможности структурной биологии значительно расширились с появлением криомикроскопии. С ее помощью нанобъекты можно реконструировать в нативном состоянии, в буфере или клеточном окружении. Это позволяет изучать различные функциональные и конформационные изменения в молекулах. Поскольку в криомикроскопии замораживание моментальное (менее чем 1 мс), возможно фиксировать корот-

коживущие структурные конформации, если нанести лиганд на сетку непосредственно перед замораживанием. Таким образом определяли структуру активированного никотинового ацетилхолинового рецептора со временем жизни около 10 мс [5].

Замораживают образцы, быстро помещая их на приготовленную сетку в криоген, в качестве которого обычно используют этан (его теплоотдача значительно меньше, чем у жидкого азота, а температура сжижения незначительно выше:  $-188^{\circ}\text{C}$ ). Вода, окружающая образец, моментально замораживается, и тот оказывается в слое аморфного льда. Очень важно не допустить образования так называемого кубического льда, который адсорбирует электроны и не дает возможности идентифицировать образец.

### Начинаем реконструкцию

Рассмотрим, как формируется изображение в электронном микроскопе. Электроны, проходя через вещество объекта, рассеиваются, т.е. изменяют свои траектории. Число рассеянных электронов возрастает с увеличением плотности вещества, его атомного номера, толщины образца и с уменьшением энергии электронов. В результате упругого рассеяния меняются импульсы частиц, а при неупругом рассеянии наряду с изменением импульсов меняется также их внутреннее состояние.

Основное следствие неупругого рассеяния электронов — диссипация их энергии в образце, приводящая к радиационному повреждению. Хотя действие рентгеновского излучения в 1000 раз более разрушительно, размер пучка при рассеянии электронов в 100 тыс. раз больше. Поэтому радиационное поражение остается серьезной проблемой в электронной микроскопии. Чтобы его предотвратить, образец охлаждают и стараются не подвергать избыточ-

ному электронному излучению (работа в режиме низкой дозы — 4–10 электронов на  $\text{\AA}^2$ ). В результате отношение сигнал/шум оказывается низким, что лимитирует количество информации, которую можно получить от одной молекулы. Следовательно, получить структуру с высоким разрешением от одной молекулы невозможно. Теоретически для этого требуется по крайней мере 10 тыс. молекул, а на практике еще больше: например, для получения атомной структуры бактериородопсина потребовалось 5 млн молекул [6].

Электронная микрофотография состоит из двумерных проекций трехмерных объектов. Для того чтобы собрать несколько десятков тысяч индивидуальных изображений частиц с нескольких десятков микрофотографий или ПЗС-изображений, существуют различные программы. Сбор частиц проводят вручную на экране компьютера (с помощью мышки), полуавтоматически и автоматически. В этом случае достаточно указать мышкой несколько соответствующих пар частиц в разных концах микрофотографии, а программа экстраполирует положение других частиц.

Для определения трехмерной структуры различные виды объекта необходимо выровнять и совместить. Объект может иметь симметрию (кристаллическую, спиральную, икосаэдрическую, ротационную) или быть асимметричным (рис.3). Наличие симметрии означает повторение одного и того же мотива. Наличие осей 2-го, 3-го и других порядков обуславливает ротационную симметрию (например, ионные каналы [7, 8], родопсин [6], светособирающие комплексы [9]). Симметрическая операция спирального смещения приводит к появлению спиральной симметрии (актиновые филаменты, амилоиды). Следует иметь в виду, что зеркальных изомеров к существующим молекулам, как правило, нет, поэтому любые типы

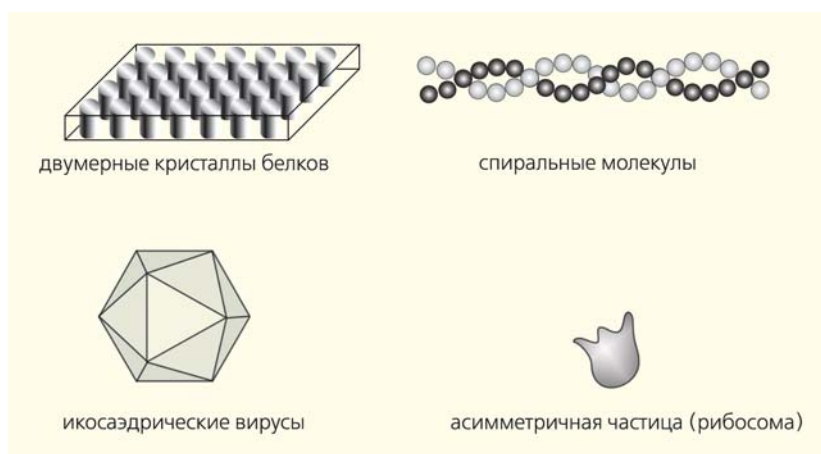


Рис.3. Разнообразие бионанообъектов, изучаемых методом ПЭМ [18].

симметрических упаковок белковых молекул могут иметь только оси, а не плоскости симметрии. Отношение сигнал/шум образца симметрия увеличивает, уменьшая таким образом общее количество изображений, необходимых для получения трехмерной реконструкции.

Существуют три основных принципа реконструкции. Во-первых, изображения частиц нужно получить в максимально возможном количестве ориентаций. Этого можно добиться, используя симметрию, поворот сетки на заданные углы, а также при произвольном расположении наночастиц в образце.

Во-вторых, необходимо определить ориентацию (углы поворота) и центр для каждой частицы (рис.4). Для уточнения этих параметров обычно проводят перекрестное сравнение между различными изображениями или сравнение с проекционными изображениями предварительно полученной трехмерной модели.

В-третьих, изображения частиц необходимо сдвинуть (в направлении  $x$  или  $y$  на рис.4), чтобы привести все объекты к одинаковому виду. Только после этого можно рассчитывать трехмерную реконструкцию. Образцы с разной геометрией требу-

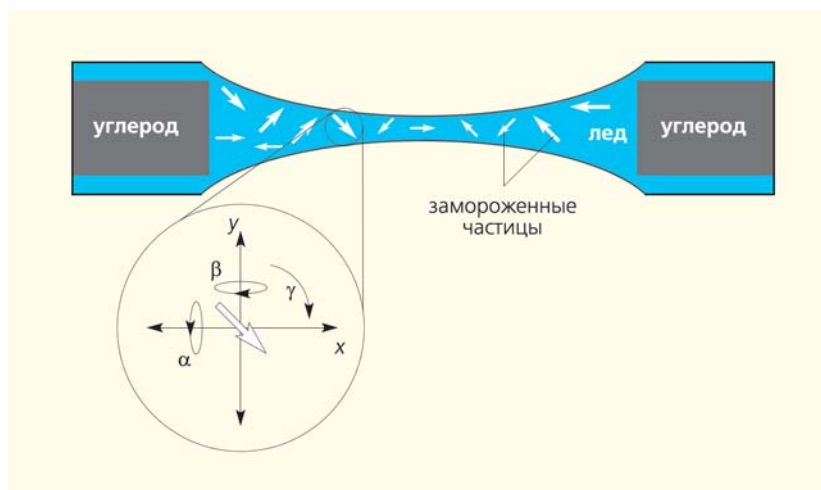


Рис.4. Схема ориентации молекул, замороженных в слое аморфного льда, и пять параметров наночастиц, которые необходимо определить для построения трехмерной реконструкции: углы поворота  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и направления сдвига  $x$ ,  $y$  [19].

ют специальных схем сбора и разных подходов к реконструкции. В настоящее время есть множество программ для расчета трехмерных структур, в основе которых лежат принципы взаимной корреляции [10].

### Проводим интерпретацию

Полученную в результате анализа трехмерную структуру необходимо обработать, чтобы определить локализацию доменов и/или другие структурные особенности. Рассмотрим распространенные методы интерпретации трехмерной структуры.

Наиболее широко распространенный метод — докинг кристаллической структуры. Он используется в тех случаях, когда известна кристаллическая структура части молекулы или комплекса (рис.5,а), и проводить его можно вручную [11] или автоматически [12]. Докинг атомных структур позволяет уточнить строение олигомерного белка, определить специфические взаимоотношения между отдельными основаниями, либо даже уточнить кристаллическую структуру — так, как это было сделано для вируса табачной мозаики [13]. Для сопоставления трехмерной реконструкции и кристаллической структуры последнюю можно привести к низкому разрешению. Так сде-

лали при интерпретации доменной структуры потенциал-зависимых калиевых каналов [8].

Для интерпретации расположения удаленных доменов используют мутагенез. Для точного определения позиции рассчитывают разностное изображение между проекциями или трехмерными структурами дикого типа и транкированного мутанта. Так определяли положение С-концевых доменов ионных каналов (рис.5,б,в), удаленных при получении полноразмерной атомной структуры [14], и их перераспределение в результате присоединения β-субъединицы ионным каналом *Shaker* [15].

Иммуномечение применяется для идентификации отдельных частей структуры или мест связывания лигандов, если имеются антитела против отдельных эпитопов, входящих в состав изучаемой молекулы. Целая молекула антитела достаточно гибкая, поэтому при усреднении нескольких изображений комплекса с антителом отношение сигнал/шум часто уменьшается (рис.6) [16]. Этот метод имеет некоторые ограничения. Например, если антитела получены против гибких неструктурированных петель в структуре белка, определить место их связывания путем суммирования многих изображений невозможно. Для удаления несвязав-

шихся антител используют методы хроматографического разделения, приводящие к значительному разведению исследуемого образца.

**Кластеризация и образование комплексов.** Когда концентрация детергента снижается до критической, молекул детергента не хватает для образования мицеллы вокруг каждой молекулы белка, поэтому несколько молекул образуют кластер. При этом их мембранные части оказываются окружены одной мицеллой (рис.6,2,д). В этом случае можно понять, какая часть белка — мембранная.

**Мечение наночастицами золота** применяется как при иммуномечении (меченые антитела), так и при непосредственной пришивке золотой наночастицы к молекуле (с помощью S-связи, по аминокислоте и др.). Для мечения, как правило, используют коммерческие препараты наночастиц золота (например, Nanoprobes). Преимущества этого метода в том, что наночастица золота маленькая, а линкер, привязывающий частицу к молекуле, — короткий, поэтому мечение очень точное. Но эти же параметры не позволяют использовать нанозолото в сочетании с негативным контрастированием, которое практически полностью маскирует частицу золота.

### Техногенные наночастицы

В наноразмерном состоянии многие вещества небиологической природы приобретают новые свойства и становятся весьма активными биологически. Это, с одной стороны, открывает новые возможности применения наноматериалов в биомедицине, фармакологии, производстве продуктов питания, при решении экологических и сельскохозяйственных проблем. С другой стороны, высокая биологическая активность наночастиц несет в себе и потенциальный риск нежелательных токсических эффектов для

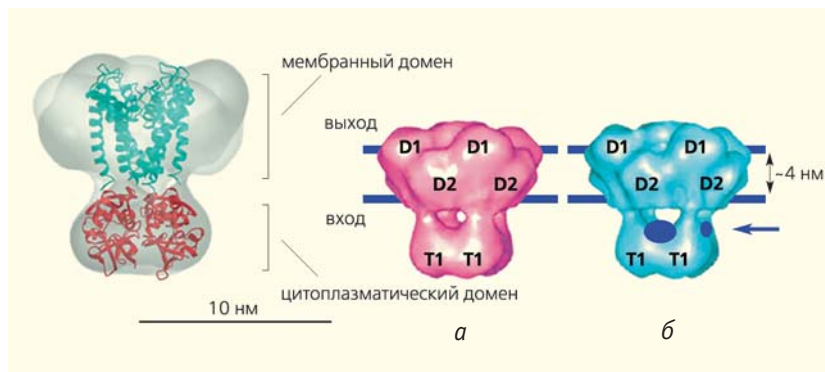


Рис.5. Докинг кристаллической структуры в электронную плотность ионного канала, полученную с разрешением 25 Å (слева). Справа — сравнение трехмерных структур полноразмерного калиевого канала (а) и канала с удаленным С-концом (б). Разностный пик показан синей стрелкой в составе мутантного канала.

работников предприятий нанотехнологического сектора, потребителей продукции нанодустрии, экологических систем, контактирующих с нанотехнологическими производствами и их отходами. Установлено, что многие наночастицы обладают высокой проникающей способностью: легко проходят через мембраны клеток, обнаруживаются в клеточном ядре, преодолевают гематоэнцефалический барьер. Охарактеризовать морфологию наночастиц, продемонстрировать внутриклеточную локализацию, качественно оценить накопление и агрегацию частиц в клетках и тканях позволяет просвечивающая электронная микроскопия [17].

Итак, мы убедились, что просвечивающая электронная микроскопия — один из полноценных структурных методов. Она с успехом применяется для изучения наночастиц и позволяет получить неоченимую структурную информацию. Достижения последних лет позволили получить изображения с разрешением для симметричных структур до 1.9 Å (аквапорин), и 3.5 Å для

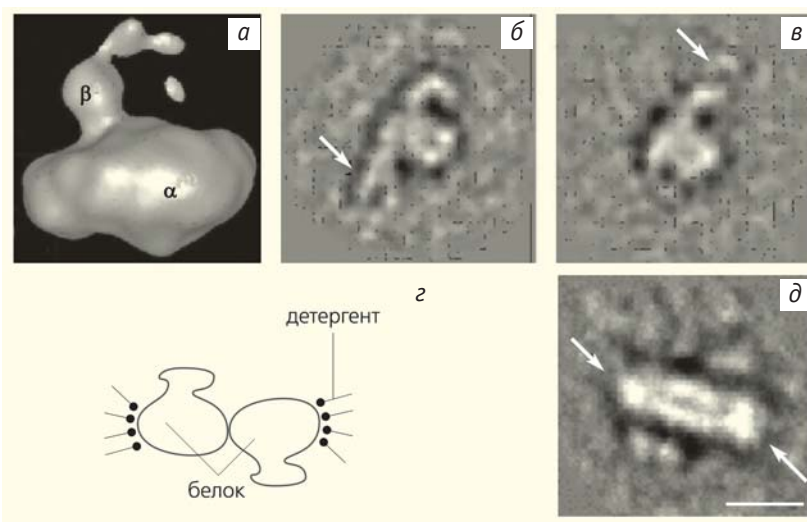


Рис.6. Структура кальциевого канала L-типа (а) и мечение его антителами (показано стрелками) против α-субъединицы (б) и β-субъединицы (в) кальциевого канала [18]. Внизу — схема образования кластеров мембранных белков (z) и кластер ионных каналов отмечен стрелками) (д) [20].

асимметричных частиц (рибосома). Создаются новые модели микроскопов с лучшими оптическими характеристиками и системами глубокого замораживания объектов в жидком гелии для сохранения их тонкой структуры. Развитие электрон-

ной томографии позволило заглянуть внутрь целой клетки и изучить ее молекулярное строение. Наномир постепенно раскрывает свои тайны и перестает быть загадкой для исследователей. Следующая станция — одна десятиллиардная метра. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 07-04-12172-офи и 08-04-01348.**

## Литература

1. Nanotechnologies. Terminology and Definitions for Nano-Objects. Nanoparticle, Nanofibre and Nanoplate. 2008. P.16.
2. Киселев Н.И. Электронная микроскопия биологических макромолекул. М., 1965.
3. DeRosier D.J., Klug A. // Science. 1969. V.163. №874. P.1470.
4. Dubochet J., Adrian M., Chang J.J. et al. // Q. Rev. Biophys. 1988. V.21. №2. P.129—228.
5. Berriman J., Unwin N. // Ultramicroscopy. 1994. V.56. №4. P.241—252.
6. Henderson R., Schertler G.F. // Philos. Trans. R Soc. Lond. B Biol. Sci. 1990. V.326. №1236. P.379—389.
7. Sokolova O., Kolmakova-Partensky L., Grigorieff N. // Structure. 2001. V.9. P.215—220.
8. Orlova E.V., Papakosta M., Booy F.P. et al. // J. Mol. Biol. 2003. V.326. P.1005—1012.
9. Walz T., Grigorieff N. // J. Struct. Biol. 1998. V.121. №2. P.142—161.
10. Grigorieff N. // J. Struct. Biol. 2007. V.157. №1. P.117—125.
11. Pettersen E.F., Goddard T.D., Huang C.C. et al. // J. Comput. Chem. 2004. V.25. №13. P.1605—1612.
12. Wriggers W., Milligan R.A., McCammon J.A. // J. Structural Biology. 1999. V.125. P.185—195.
13. Sachse C., Chen J.Z., Coureux P.-D. et al. // J. Mol. Biol. 2007. V.371. P.812—835.
14. Long S.B., Tao X., Campbell E.B., MacKinnon R. // Nature. 2007. V.450. №7168. P.376—382.
15. Sokolova O., Accardi A., Gutierrez D. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2003. V.100. P.12607—12612.
16. Wolf M., Eberhart A., Glossmann H. et al. // J. Mol. Biol. 2003. V.332. P.171—182.
17. Ersen O., Werckmann J., Houllé M. et al. // Nano Lett. 2007. V.7. №7. P.1898—1907.
18. Saibil H. // Nat. Struct. Biol. 2000. V.7. №9. P.711—714.
19. Grigorieff N. Личное сообщение.
20. Sokolova O. // FEBS Lett. 2004. V.564. №3. P.251—256.

# Первые итоги Международного полярного года 2007—2008

В.М.Котляков, Э.И.Сарухян, И.Е.Фролов

Основная цель Международного полярного года (МПГ) 2007—2008 заключалась в получении новых знаний о природных и социально-экономических процессах в полярных регионах на основе скоординированных и методически согласованных наблюдений, оценок и прогнозов состояния природной среды Арктики и Антарктики в условиях меняющегося климата и увеличивающегося воздействия человека на окружающую среду [1]. Научные задачи МПГ 2007—2008 решались на основе национальных и международных исследований, включавших постоянные наблюдения на станциях и базах, экспедиции на морских судах, мониторинг природных явлений с применением средств космического зондирования.

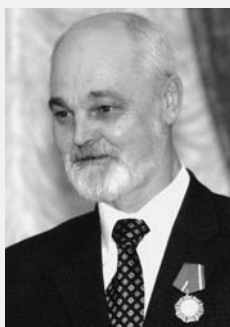
В 2007—2008 гг. выполнены комплексные исследования состояния природной среды, охватывающие изучение климата и палеоклимата полярных областей, атмосферных и океанических процессов в Арктике и Антарктике, криосферы, литосферы, околоземного космического пространства, а также экосистем полярных областей и социально-экономического развития коренного и пришлого населения Арктики. В течение двух лет интенсивной деятельности участники МПГ изучали



**Владимир Михайлович Котляков**, академик, директор Института географии РАН, заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН, почетный президент Русского географического общества (РГО). Специалист в области географии и гляциологии. Представитель России в Объединенном комитете по подготовке и проведению Международного полярного года 2007—2008.



**Эдуард Иосифович Сарухян**, доктор географических наук. Занимается проблемами циркуляций Южного океана, взаимодействия океана с атмосферой, изменения климата. В настоящее время специальный советник Генерального секретаря Всемирной метеорологической организации по Международному полярному году 2007—2008.



**Иван Евгеньевич Фролов**, доктор географических наук, профессор, директор Государственного научного центра РФ Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Роскомгидромета. Специалист в области морских льдов, полярной метеорологии и океанологии.

© Котляков В.М., Сарухян Э.И., Фролов И.Е., 2010

и наблюдали новые захватывающие явления. Они сделали важнейшие научные открытия, разработали новые методы и технологии, расширили междисциплинарные и международные связи в области полярной науки и, что особенно важно, пришли к новому пониманию значения полярных регионов в системе планеты Земля [2]. Спонсоры МПГ — Международный совет по науке и Всемирная метеорологическая организация (ВМО) планировали его завершение в марте 2009 г., однако успешный ход проведения МПГ и существующие возможности финансирования со стороны ведущих стран-участниц вдохновили исследователей на его продолжение. Официальное закрытие МПГ намечено на июнь 2010 г. на заключительной конференции в Осло.

Всеобъемлющий анализ достижений МПГ, безусловно, дело будущего, однако уже по результатам исследований прошедших двух лет можно подвести первые итоги и дать их предварительную оценку. При этом в данной статье наряду с результатами, полученными в международных проектах, большое внимание уделяется вкладу российских ученых, которые вели исследования в соответствии с научной программой участия Российской Федерации в проведении МПГ, разработанной совместными усилиями Росгидромета и РАН.

## Экспедиционные исследования

Морские и сухопутные экспедиции МПГ проводились в обеих полярных областях. В Северном Ледовитом океане работали дрейфующие станции «Северный полюс-35 и -36», французская яхта «Тара», находившаяся в ледовом дрейфе подобно судну «Фрам» в 1893—1896 гг., российские научно-экспедиционные суда «Академик Федоров» и «Михаил Сомов», «Виктор Буйницкий», «Академик Мстислав Кел-

дыш», «Фритъоф Нансен», «Иван Петров», «Север», ледокол «Капитан Драницын»; германский научно-исследовательский ледокол «Polarstern», шведский ледокол «Oden», американский «Healy» и канадский «Amundsen», польское научно-исследовательское судно «Oceania», норвежское «Yan Maugen» и др. Российские исследователи организовали и провели в 2007 г. 87 морских и сухопутных экспедиций, в 2008 г. — 72 (рис.1, 2).

Большинство экспедиций МПГ носило международный характер. В них принимали участие российские, американские, канадские, норвежские, шведские, германские, французские, польские, китайские, японские ученые. Наряду с традиционными методами исследований широко использовались новые научно-технические разработки, позволившие получить информацию о состоянии атмосферы

и океана с высоким пространственно-временным разрешением. Дрейфующие профилографы (ИТР), зондирующие верхний слой океана до глубин 500—600 м, оперативно передавали полученные результаты по спутниковым каналам связи. В 2007 и 2008 гг. с борта судна «Академик Федоров» в Северном Ледовитом океане в рамках сотрудничества России с США и Францией было установлено 20 автоматических дрейфующих буев различного класса, включая ИТР. В ходе международных экспедиций 2007—2008 гг. впервые по всему Арктическому бассейну было размещено 173 заякоренных измерителя течений с продолжительностью измерений до нескольких лет [3]. В приполюсном районе Арктического бассейна Институт океанологии РАН провел гидрофизические измерения в верхнем (0—400 м) слое океана одновременно в че-



Рис.1. Российские морские экспедиции в Арктике в 2007 г.

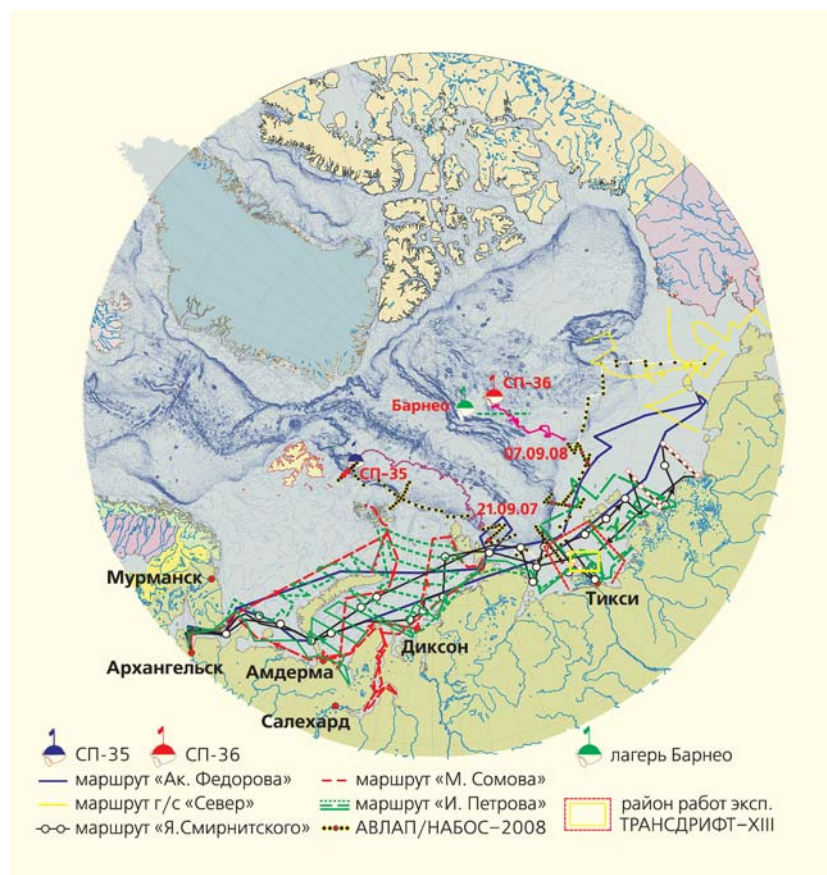


Рис.2. Российские морские экспедиции в Арктике в 2008 г.

тырех разнесенных друг от друга на 20–30 км дрейфующих лагерях. Здесь получено 75, а всего в центральной части Северного Ледовитого океана 6500 вертикальных профилей температуры и солености, характеризующих состояние поверхностных и промежуточных водных масс, исследованы крупномасштабные пространственно-временные характеристики галоклина Арктического бассейна. В рамках эксперимента ПАЛЭКС на временной дрейфующей ледовой базе, работавшей в приполюсном районе Арктического бассейна, выполнялся комплекс наблюдений, который включал водолазные подледные работы по сбору планктона, а также комплексные геохимические исследования морского льда и воды, потоков вещества изо льда в воду.

Были проведены комплексные исследования (включая гео-

лого-геофизические работы) в Баренцевом и Карском морях, в море Лаптевых и в Восточно-Сибирском море на научно-исследовательском судне «Иван Петров». С борта ледокола «Капитан Драницын» выполнены исследования роли процессов трансформации атлантических вод на материковом склоне и примыкающей части океанского ложа в районе моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Баренцева морей в формировании современных климатических изменений в Арктике. Изучена система полыней и фронтальных разделов в море Лаптевых как индикаторов состояния и климатической изменчивости природной среды морей сибирского шельфа. Здесь впервые зафиксировано в придонном слое отепляющее влияние атлантических вод, проникающих из северных районов моря Лаптевых.

В рамках программы НАСА (США) по оценке регионально-го климата Арктики (PARCA) были активизированы наблюдения за состоянием Гренландского ледникового покрова, проводимые с 1979 г. с применением спутников и аппаратуры, установленной на борту самолета.

На Шпицбергене и в его прибрежных водах российскими и норвежскими учеными был совместно выполнен ряд проектов МПГ, охватывавших изучение климатической системы архипелага, припайных льдов в фьордах о. Западный Шпицберген, долгопериодных изменений уровня, уязвимости районов пастбищного оленеводства в условиях изменений климата. Проведены широкие экспедиционные работы по океанографии заливов Биллефьорд и Гренфьорд, показавшие, что пространственное распределение температуры и солености воды, а также биогенных элементов в поверхностном слое определяется речным стоком и интенсивностью апвеллинга во внутренних частях заливов. Изучались водный баланс водосборного бассейна залива Гренфьорд, гидротермическое состояние и режим субполярных и теплых ледников, благодаря чему были установлены изменения в геометрии и гидротермической структуре политермических ледников Фритьюф и Ханс.

В экспедициях Арктического и Антарктического института (АНИИ) Роскомгидромета проводились измерения уровня загрязнения снежного покрова в Республике Саха (Якутия) и Чукотском автономном округе, на основе которых сделан вывод, что в восточной части Российской Арктики концентрации сажевого аэрозоля в снеге низки и не превосходят средних величин, измеренных четверть века назад за пределами этой территории. Начались работы по бурению мерзлотной скважины глубиной 200 м на берегу оз. Эльгыгытгын с целью выявления уникальных палео-

климатических характеристик Чукотки.

Проведен цикл работ для оценки социально-экономических последствий, вызываемых изменениями состояния окружающей среды полярных регионов, которые влияют на жизнедеятельность коренных народов Арктики. На их основе разработаны рекомендации по учету условий меняющегося климата и состояния природной среды для устойчивого социально-экономического развития арктических территорий. Институтом системного анализа РАН, Институтом географии РАН и ААНИИ проводились этно-экологические и социально-экономические исследования в прибрежной зоне Арктики. Выполнено более 900 осмотров местного населения врачами-специалистами, анкетирование и антропометрия взрослого и детского населения, взяты пробы воздуха, воды, почв, растительности, продуктов питания.

В Антарктике во время выполнения международных трансантарктических походов исследованы районы, где наблюдения не проводились более 50 лет, отобраны ледовые керны неглубокого бурения и пробы снега для лучшего понимания процессов аккумуляции и абляции, а также современной изменчивости поверхностного баланса массы центральной части ледникового щита Антарктиды. Кроме того, проведены исследования аэрозольного и газового обмена между атмосферой и снежным покровом, с тем чтобы лучше понять, каким образом сигналы о региональной и глобальной изменчивости окружающей среды фиксируются в ледовых кернах.

Российские экспедиционные работы в Антарктике проводились по 24 полевым проектам. Они включали метеорологические измерения, исследования Антарктического ледникового покрова, атмосферной циркуляции, озонового слоя и ультрафиолетовой радиации, измен-

чивости и трендов климатически значимых аэрозольных параметров, взаимодействия вод антарктического склона и шельфа, гляциогеофизические исследования линий тока льда, проходящих через подледниковое озеро Восток, природы подледниковых озер Антарктики, поверхностной аккумуляции и стока льда, влияния солнечной активности на изменения в атмосфере, а также изучение импульсных сигналов неэлектромагнитной природы и космической погоды в Антарктике. Экосистемные исследования охватывали изучение эволюции и динамики экосистем в Антарктике и Южном океане в современных климатических условиях. Геологический аспект касался тектоники плит и полярных океанических связей в истории Земли, происхождения, эволюции и положения подледных гор Гамбурцева, изучения неизведанных антарктических территорий. Особое внимание уделено проблемам экологически чистого проникновения в подледниковое озеро Восток и комплексному его исследованию.

Циркумполярные океанографические съемки Южного океана были выполнены в летние сезоны Южного полушария 2007/08 и 2008/09 гг. судами более 10 стран, в том числе России, на согласованных разрезах для получения квазисиноптической картины распределения физических, химических и биологических характеристик Южного океана и оценки его связи с изменением климата.

### Предварительные результаты исследований

**Северный Ледовитый и Южный океаны, морской лед.** Исследования МПГ 2007—2008 в высокоширотной Арктике позволили получить уникальные данные об изменениях, произошедших в океане, морских льдах и атмосфере над ними. Ранее были изучены климатические ха-

рактеристики Арктического океана в период до развития современного потепления, особенно детально представляющие его климат в 1970-е годы, во время относительного похолодания между потеплением Арктики в 1930—1950-е годы и современным потеплением. Данные океанографических наблюдений в период МПГ 2007—2008 позволили оценить характеристики современного состояния водных масс на акватории почти всего Арктического бассейна и сравнить их с климатическими значениями для 1970-х годов. На рис.3 показаны поля температуры и других характеристик водных масс Арктического бассейна по данным наблюдений в 1970-х годах и в 2007 г. Распределение температуры в слое атлантической воды в сравнении с показателями 1970-х годов демонстрируют масштабы потепления в этом слое, охватившем весь Арктический бассейн. Максимальная температура здесь увеличилась на 1—1.5°C, одновременно поднялась верхняя граница слоя, отождествляемая с нулевой изотермой. Вследствие этих изменений опресненный верхний слой над областью потока атлантической воды уменьшился, и часть его воды сместилась в сторону Гренландии и Канадского архипелага, в результате усилился сток опресненной воды из Арктического бассейна через Канадские проливы.

Благодаря океанографическим наблюдениям, проведенным в Арктике в период МПГ, были получены новые оценки притока атлантических вод в Арктический бассейн, проанализировано их пространственное распространение и его изменение во времени, а также установлены более точные масштабы распространения слоя пресной воды и получено подтверждение, что круговорот Бофорта служит одним из крупнейших морских резервуаров пресной воды.

Арктика — это один из районов, в которых пока не удается получить хорошего согласия



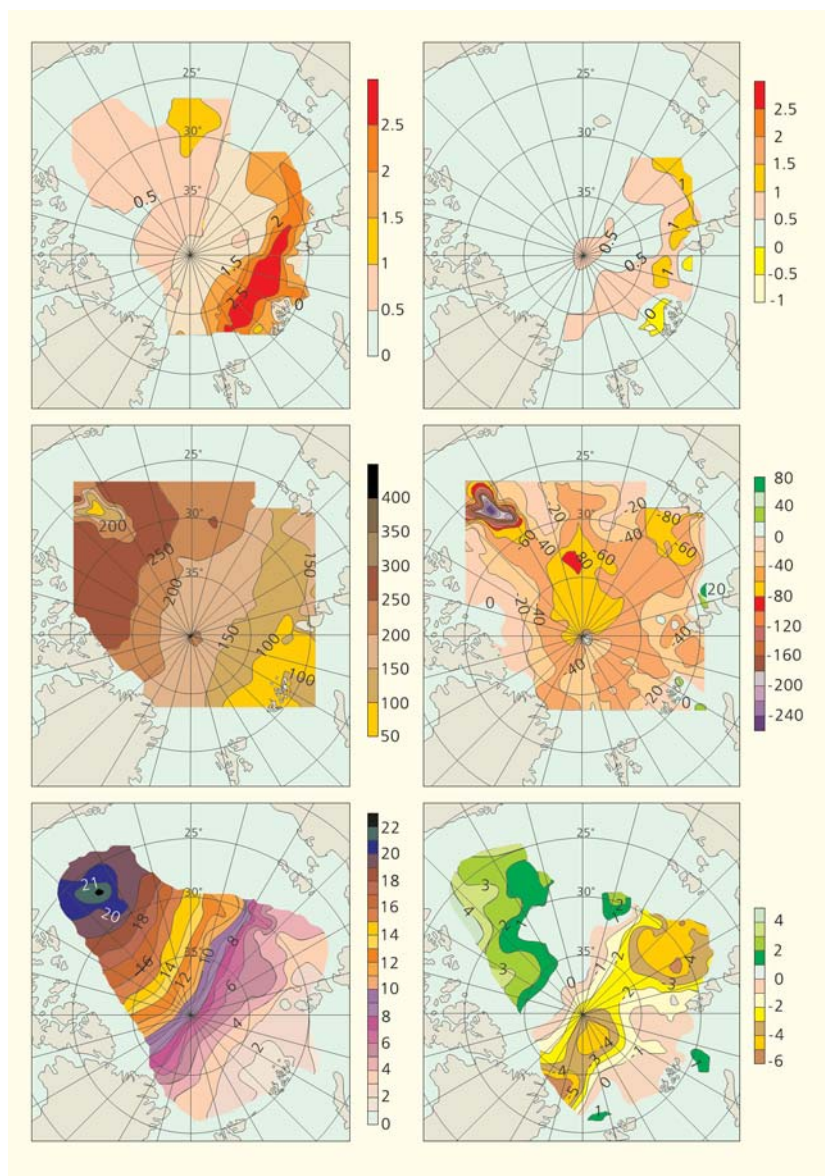


Рис.3. Сравнительное состояние некоторых характеристик Арктического бассейна в 2007 г. (слева) и аномалии относительно 1970-х годов (справа): верхний ряд — максимальная температура в слое атлантической воды; средний ряд — глубина залегания верхней изотермы 0°C; нижний ряд — содержание пресной воды в слое от поверхности до глубины изохалины 34.80‰.

между глобальными моделями и наблюдениями происходящих изменений климата, в том числе изменений в состоянии ледяного покрова Арктического бассейна [4]. Исследования МПГ 2007—2008 в высокоширотной Арктике, особенно благодаря наблюдениям со спутников, позволили получить уникальные данные о распространении ледяного покрова. Спутниковые

наблюдения Европейского и Канадского космических агентств, участвующих наряду с другими космическими агентствами в проекте МПГ, позволили зарегистрировать в сентябре 2007 г. минимум площади распространения ледяного покрова (на 39.2% ниже среднего значения за 1979—2000 гг.). Это самое низкое значение за более чем 30-летний период наблюдений

со спутников. Дрейф яхты «Тара» в период МПГ показал также беспрецедентно высокую скорость дрейфа льда в Арктическом бассейне, что служит убедительным доказательством крупномасштабных изменений в арктической системе лед—океан—атмосфера в последние годы.

Во время полевых исследований на дрейфующих станциях «Северный Полюс-34 и -35» в 2006—2008 гг. получило подтверждение положение об активной роли сезонной трансформации морского льда в Арктике в увеличении амплитуды годовых колебаний концентрации CO<sub>2</sub> в арктической атмосфере [5]. Измерения потоков CO<sub>2</sub> на поверхности нарастающего льда во время дрейфа СП-35 подтвердили его поступление в атмосферу при нарастании льда. Это значит, что Арктический бассейн в среднем за год может быть источником CO<sub>2</sub>, поскольку здесь нарастание льда превышает его таяние из-за его выноса за пределы бассейна. В таком случае ускоренное сокращение площади морского льда может привести к усилению этого источника в результате роста его объема в зимний период.

Интенсивные исследования Южного океана с помощью большого количества судов показали необычайно насыщенную и развитую зону обитания живых организмов, тем самым значительно расширив наше знание полярного биологического разнообразия [2]. В результате этих исследований две области океанской акватории площадью приблизительно по 400 км<sup>2</sup> были признаны уязвимыми морскими экосистемами в рамках Конвенции о сохранении морских живых ресурсов Антарктики и занесены в международный реестр для охраны.

Междисциплинарные исследования антарктического морского льда показали, что физические характеристики льда и прилегающей океанской среды играют важную роль в регулировании основной продук-

тивности морских экосистем. В Южном океане были также обнаружены новые свидетельства современного изменения климата. Данные с океанических буев Арго, измерительных приборов, размещенных на морских млекопитающих, и научно-исследовательских судов подтверждают, что Южный океан, особенно южный фланг Антарктического циркумполярного течения, прогрелся быстрее, чем Мировой океан в среднем. Кроме того, в донных водных массах большой плотности, формирующихся у берегов Антарктиды, произошло распреснение в одних районах и прогревание в других. Распреснение согласуется с усиленным таянием шельфовых ледников Антарктиды. Эти изменения свидетельствуют о том, что современное изменение климата оказывает воздействие на Антарктику в масштабах, которые ранее не предсказывались [2].

**Полярная атмосфера.** Новые результаты ее исследований получены благодаря экспедиционным наблюдениям, а также на постоянных сетях метеорологических станций, которые были существенно реконструированы. В частности, модернизированы 23 российские полярные станции, восстановлены аэрологические и геофизические наблюдения на основе запусков метеорологических ракет. Выполнялся мониторинг космических лучей в арктической атмосфере и на уровне моря. Наблюдаемые потоки заряженных частиц в земной атмосфере от уровня Земли до высот 30–35 км свидетельствуют о необычно глубоком и продолжительном текущем минимуме солнечной активности.

В рамках совместного проекта Росгидромета и НОАА (США) при участии Финского метеорологического института создается гидрометеорологическая обсерватория в Тикси, оснащенная новейшими средствами наблюдений и связи, лабораторными и офисными помещениями, где будет проводиться сбор данных



Рис.4. Главное здание Гидрометеорологической обсерватории в Тикси.

об атмосферных процессах и сопутствующих параметрах океана и суши для целей изучения погоды и климата. Создание обсерватории в Тикси (рис.4) — это важный этап в организации международной циркумполярной сети станций мониторинга изменений климата Арктики, включающей также полярные обсерватории на Аляске (Барроу), Канадском Арктическом архипелаге (Алерт—Еурика), Шпицбергене

(Нью-Алесунд), в Гренландии (Саммит) и Скандинавии (Паллас и Абиско), рис.5.

В ходе МПГ также проведена полная реконструкция антарктических станций Халли-Бэй (Великобритания), Неймауер (ФРГ), Конкордия (Италия и Франция), создана новая станция Принцесс Элизабет (Бельгия) и установлены новые автоматические метеостанции в труднодоступных местах экспедициями Австралии,



Рис.5. Планируемая международная сеть гидрометеорологических обсерваторий в Арктике.

Китая, России, США и других стран.

Для исследования климатообразующих свойств аэрозоля в полярных регионах выполнен цикл многолетних спектральных фотометрических измерений солнечной радиации в Антарктиде и над акваторией Атлантического океана. Эти измерения дают пространственную картину распределения аэрозольной составляющей атмосферы над Атлантикой от 60°с.ш. до побережья Антарктиды. В качестве характеристики ослабления солнечной радиации аэрозольными частицами во всем столбе атмосферы на разных длинах волн используется величина, называемая спектральной аэрозольной оптической толщиной (АОТ) атмосферы. На рис.6 представлены результаты многолетних измерений средних месячных величин АОТ на длине волны 500 нм в Антарктиде.

Пики на кривых, приходящиеся на летние антарктические сезоны 1982/83 и 1991/92 гг., связаны с последствиями извержений вулканов Эль-Чичоне в апреле 1982 г., а затем Пинатубо в июне и Хадсон в августе 1991 г. Продолжительность эффекта уменьшения прозрачно-

сти атмосферы в Антарктиде в этих случаях составляла 1.5—2 года. Увеличение оптической толщины при этих явлениях определялось, прежде всего, выбросом продуктов вулканической деятельности в стратосферу, т.е. стратосферным аэрозолем [6, 7]. В межвулканические периоды измеряемые в Антарктиде величины аэрозольного ослабления солнечной радиации были одними из самых низких на Земле и находились в пределах их естественной изменчивости. Это свидетельствует о том, что атмосфера Антарктиды и по сей день практически не подвержена загрязнению аэрозолями антропогенного происхождения.

**Криосфера и палеоклимат.** В ходе МПГ в Институте географии РАН было проанализировано состояние арктических ледников в последние десятилетия. Анализ данных по балансу массы ледников Российской и Канадской Арктики, Северной Америки, Шпицбергена, Скандинавии и Гренландии показывает, что наблюдаемая сейчас убыль льда существенно зависит не только от поверхностного баланса массы ледников (климатическая составляющая), но и от интенсивности стока льда в мо-

ре (динамическая составляющая). С 1961 по 2005 г. объем льда в ледниках Арктики уменьшился на 66.1 км<sup>3</sup>, что эквивалентно повышению уровня Мирового океана на 0.18 мм/год. Чистые потери льда в Арктике (без учета гренландского ледникового покрова) на 70% связаны с поверхностной убылью массы (климатические потери), а на 30% — со стоком льда в морские бассейны (динамические потери); на Земле Франца-Иосифа айсберговый сток превышает 50%. Выявлены эмпирические связи объема ледников с их площадью и на этой основе вычислены изменения оледенения для трех архипелагов Российской Арктики за 1952—2001 гг. За это время ледники потеряли около 250 км<sup>3</sup> — 1.6% от исходной массы. Для сравнения: по данным космических изображений и прошлых карт, ледники архипелага Королевы Елизаветы в Канадской Арктике (крупнейшей области оледенения Земли после Антарктиды и Гренландии), занимающие почти 110 тыс. км<sup>2</sup>, за 1959—1999 гг. сократились на 1844 км<sup>2</sup>, т.е. на 1.77% от площади 1959 г., что соответствует убыли объема льда в 635.8 км<sup>3</sup>, или на 2.17%.

Спутниковые измерения в микроволновом диапазоне и самолетные наблюдения в Гренландии, проводимые в рамках программы «PARCA-SIRES», позволили установить, что площадь области таяния на ледниковом покрове Гренландии, которая увеличивается начиная с 1979 г. ежегодно на 1.4%, в 2007 г. достигла максимальной величины, на 10% превышающей рекордное значение, зарегистрированное в 2005 г. Отсюда становится ясным, что темпы убыли льда в Гренландии нарастают, Гренландский ледниковый щит теряет массу и тем самым повышает уровень моря.

В Антарктике с использованием традиционных и космических данных удалось оценить аккумуляцию и сток материкового льда для большей части ан-

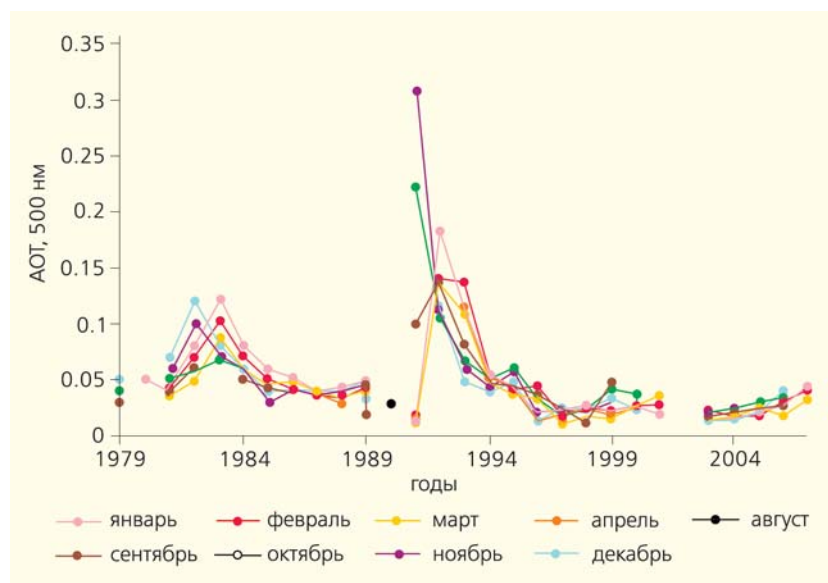


Рис.6. Многолетняя изменчивость средних месячных значений АОТ на длине волны 500 нм в Антарктиде.

тарктического ледникового покрова и их изменения в прошлом столетии. Было установлено, что ледниковый покров Восточной Антарктиды, как и основные ледосборные бассейны, во второй половине прошлого века имел некоторое превышение снегонакопления над стоком льда и, соответственно, положительный баланс массы (рис.7). В пределах Западной Антарктиды ситуация иная. По нашим оценкам, в 1960-е годы баланс массы здесь, с учетом погрешностей измерений, был положительным и стал близким к нулевому к концу столетия.

Важными также были проведенные термометрические наблюдения в скважинах в Сухих долинах Антарктиды, показавшие, что подошва слоя годового теплооборота здесь залегает на глубине около 20 м, где среднегодовые температуры пород составляют  $-18^{\circ}\text{C}$  на уровне моря и понижаются в глубь материка с увеличением высоты местности до  $-28^{\circ}\text{C}$  на высоте 3 км. Путем круглогодичного (с 1999 г.) мониторинга температурного режима мерзлых пород с помощью логгеров в скважинах состояние вечной мерзлоты в Сухих долинах охарактеризовано как стабильное — изменения среднегодовых температур пород не отмечено. Здесь впервые установлено повсеместно высокое (25–40% и более) содержание сегрегационного льда в мерзлых породах, что опровергает тезис о «сухой мерзлоте» антарктических пустынь. Установлено, что вечная мерзлота Антарктиды отличается намного более низкими температурами пород, чем в Арктике, а близкое к нулю содержание незамерзшей воды делает ее как среду обитания «биологически сухой». Это крайне затрудняет обмен микроорганизмов с окружающей средой и определяет принципиально иной, по сравнению с Арктикой, механизм сохранения ими жизнеспособности в мерзлых толщах на протяжении геологически значимо-

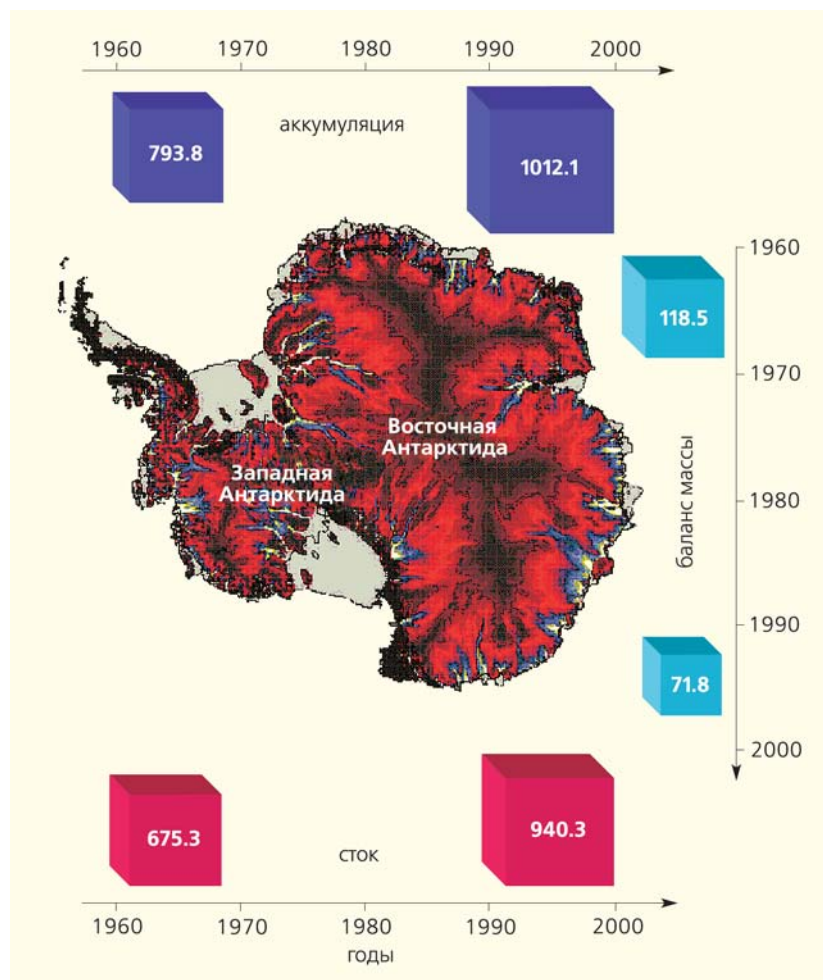


Рис.7. Изменения аккумуляции, стока льда и баланса массы Антарктического ледникового покрова за последние десятилетия.

го времени. Из антарктических мерзлых толщ впервые выделены жизнеспособные микроорганизмы, возраст которых соответствует возрасту вечной мерзлоты, при этом позднемiocеновые микробные сообщества оказываются самыми древними на Земле. Таким образом, здесь находятся, по-видимому, самые древние на земном шаре почвы, возраст которых может составлять более миллиона лет.

В период МПГ 2007–2008 проводились исследования воздействия потепления климата и таяния криолитозоны на структуру почвогрунтов и ландшафтные характеристики при прошлых потеплениях климата и при его прогнозируемом потеплении в XXI в. Изменения струк-

туры почв и рельефа неизбежно влияют на режим поверхностного и подповерхностного стока, вертикальный влаго- и газообмен в почве. По модельным расчетам, выполненным в Институте физики атмосферы РАН, к концу XXI в. при наиболее агрессивном сценарии SRES A2 многолетнемерзлые грунты практически полностью исчезнут в Северной Америке и Центральной Сибири (рис.8). В Восточной Сибири, где мерзлота останется, глубины сезонного протаивания заметно увеличатся и в большинстве регионов превысят 2 м. Полная площадь распространения многолетнемерзлых грунтов для 2071–2100 гг. при этом сценарии составит 4–5 млн км<sup>2</sup>, а в послед-

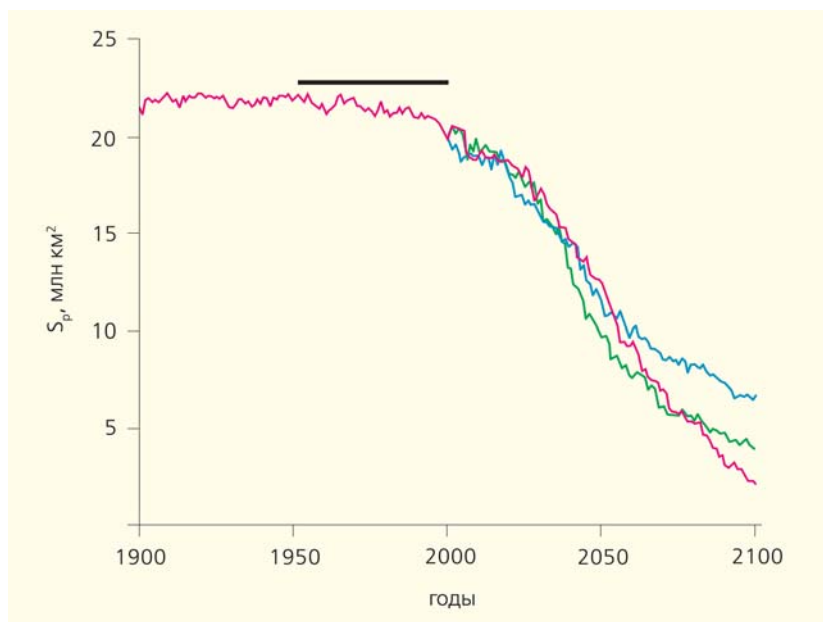


Рис.8. Площадь распространения многолетней мерзлоты для сценариев внешнего воздействия SRES B1 (синяя линия), SRES A1B (зеленая линия) и SRES A2 (красная линия). Черной прямой линией показаны эмпирические оценки для полной площади распространения многолетнемерзлых грунтов, формально приписанные второй половине XX в. (данные И.И.Мохова).

ние годы этого столетия сократится примерно до 2 млн км<sup>2</sup>.

Согласно модели Института физики атмосферы РАН, к середине XXI в. в холодных регионах суши будет наблюдаться общее увеличение почвенного стока в средних широтах Евразии, на Аляске и Лабрадорском п-ове вследствие увеличения там зимних снегозапасов. Судя по модельным расчетам, отмечается увеличение стока на юго-востоке Азии, подверженном воздействию муссона. Наоборот, сток уменьшается на юге Европы и Сибири, на Чукотке, а также в центре Североамериканского континента. Такая структура изменения стока характерна для всех трех упомянутых сценариев. К концу XXI в. общая структура изменения стока не меняется, но размер региона с уменьшением стока на юге Европы возрастает.

**Биогеография северной Евразии в динамике.** Важной составной частью исследований МПГ было изучение биологического разнообразия поляр-

ных областей. Так, на примере Белого моря исследованы динамика, численность и разнообразие морских птиц, что существенно дополнило материалы по 50-летней природной и антропогенной изменчивости их биоразнообразия, пространственного размещения и численности. С 2000 по 2007 г. усилилось влияние природных (изменения климата, ледовой обстановки, условий зимовок и пр.) и антропогенных (последствия нефтяного загрязнения, снижение вылова рыбы) факторов, которые негативно влияют на состояние популяции морских птиц в Арктическом регионе. Проведена оценка динамики численности и разнообразия водоплавающих птиц в связи с изменениями климата, выявлена тесная связь циклических климатических изменений и численности уток, гусей, казарок, лебедей и куликов. Синтез результатов зоогеографических исследований позволил проследить реакции гусеобразных на изменения климата Арктики.

Проведены реконструкции развития растительности и арктического фаунистического комплекса ключевых хроносрезов позднего плейстоцена и голоцена — аналогов современной и прогнозируемой климатической обстановки в европейском секторе Арктики. Показано, что в период оптимума голоцена шло активное торфообразование (до 5 мм/год), смены растительности от безлесных южных тундр к северо-таежным комплексам и обратно происходили в короткий временной интервал — около 1 тыс. лет.

Установлены основные тренды и темпы климатогенных перестроек в период стадийного похолодания — поздний дриас (10.9—10.2 тыс. лет назад) и ранний голоцен (10.2—8.0 тыс. лет назад). Положение границ зональной растительности для раннего голоцена приводится на рис.9.

#### Древнейшее заселение человеком северной Евразии.

Большое внимание в ходе МПГ было уделено изучению природных условий эпохи заселения человеком северной Евразии в позднем плейстоцене и голоцене. Установлено, что, в отличие от высоких и средних широт Северной Америки, занятых ледниковыми покровами, в высокоширотном секторе северной Евразии в эпоху первоначального появления человека ледниковые системы имели ограниченное распространение, обширные пространства этого региона обеспечивали потенциальную возможность для расселения. Был выполнен детальный анализ пространственной локализации и археологической характеристики стоянок доисторического человека. Изучались стоянки на Кольском п-ове (о.Большой Олений), в низовьях р.Яны (Янская стоянка), в долине р.Колымы (стоянка Большая Хая IV) и в окрестностях оз.Эльгыгытгын (Чукотка). Получены новые материалы для реконструкции условий обитания первобытного человека на арктиче-

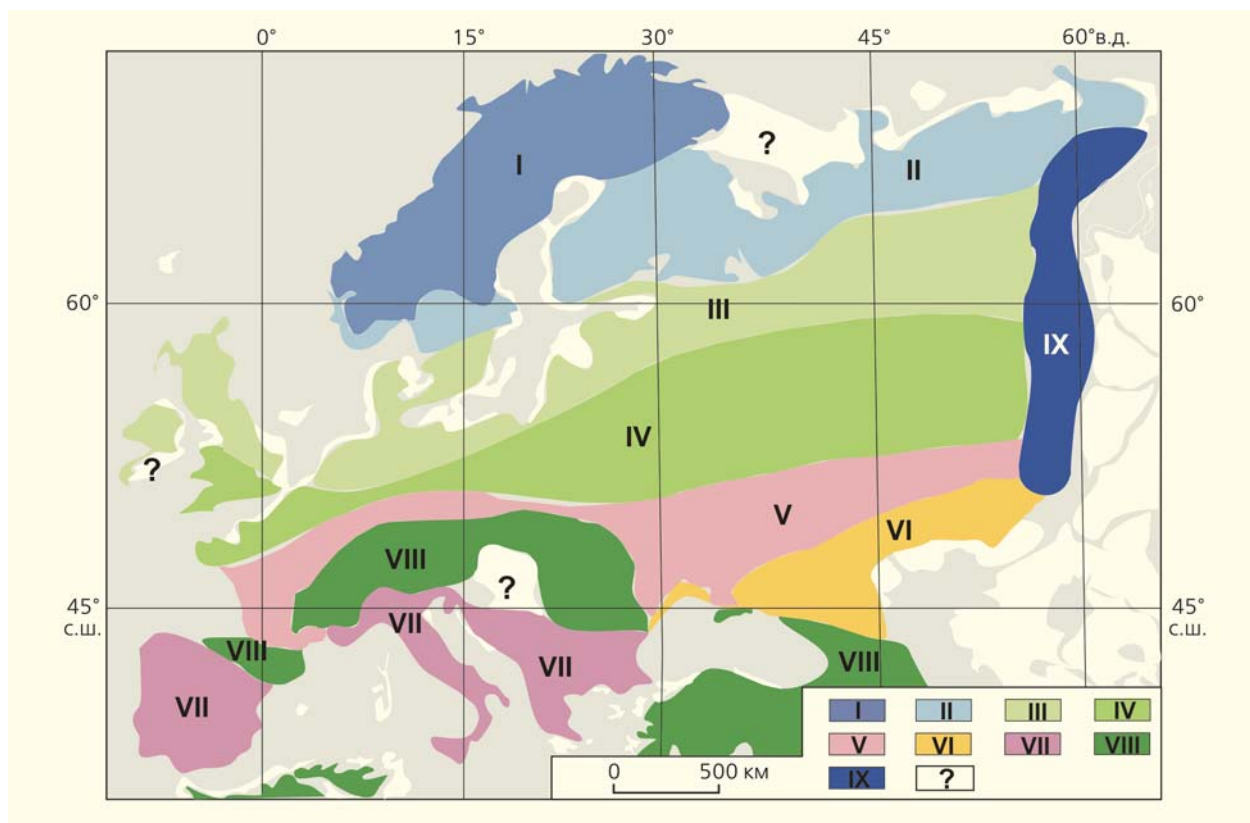


Рис.9. Положение границ арктической зональной растительности Европы в раннем голоцене, в том числе: I — кустарниковая тундра с участками лесотундры; II — лесотундра; III — разреженные сосново-березовые леса с участками тундр; IV — сосново-березовые и сосново-еловые леса с участием широколиственных пород и лесостепи; V — лесостепь; VI — степь; VII — средиземноморские ксерофитные хвойно-широколиственные леса в сочетании с травянистыми сообществами; VIII — горные хвойно-широколиственные леса; IX — горные леса с участками тундростепных сообществ Урала (по данным А.Н.Симаковой и А.Ю.Пузаченко).

ских территориях северной Евразии. Анализ состояния криолитозоны на переломном этапе перехода от последней ледниковой эпохи к голоцену (в истории человечества — конец палеолита — мезолит) показал, что самые суровые мерзлотные условия были в максимум похолодания (около 20—18 тыс. лет назад), когда южная граница многолетней мерзлоты на западе Евразии продвигалась примерно до 48° с.ш., а к востоку от 80° в.д. — значительно южнее. К древнейшим следам присутствия человека в регионе, начиная с времени 11,7 тыс. лет назад, относятся памятники культуры ненана, распространение которой связывается с первой волной переселенцев из северной Азии (рис.10).

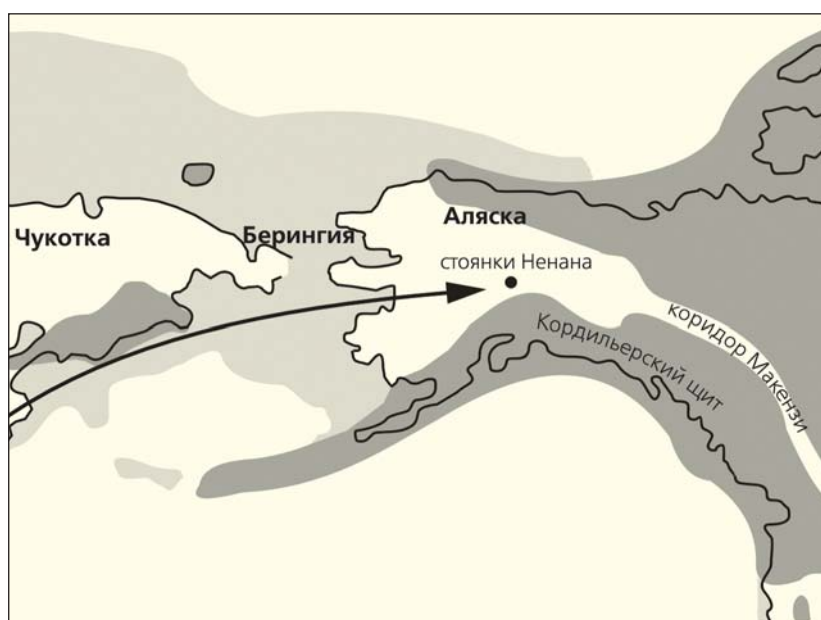


Рис.10. Берингийский мост.



Рис.11. «Профессор Молчанов» в заливе Интерпрайз (Антарктида).

Фото Я.Н.Никитина

**Современные социально-экономические проблемы Российской Арктики.** Как отмечалось ранее [1], отличительной чертой МПГ 2007—2008 по сравнению с предыдущими стало то, что в нем впервые проводились исследования в области социальных и гуманитарных наук. Эти исследования включали изучение жизни и благосостояния местных общин, использование местных природных ресурсов, социально-экономическое развитие, документацию народных экологических знаний и сохранение природного, исторического и культурного наследия. В проведении многих проектов в качестве партнеров или лидеров участвовали группы и организации коренных народов и местных жителей Арктики. Их роль была особенно заметна в исследованиях адаптации местных общин к происходящим быстрым изменениям климата и социально-экономических условий.

Российскими учеными проведена оценка современной социально-экономической ситуации в Арктике и имеющихся материалов по влиянию глобальных изменений климата на жизнь общества. Выделены три

крупных блока проблем, имеющих для Арктики и России в целом принципиальное значение: 1) проблемы нефтегазового комплекса; 2) использование Северного морского пути; 3) воздействие изменений климата на образ жизни и здоровье коренного населения.

В первом блоке выделены проблемы освоения месторождений Арктического шельфа и прибрежных районов, которые в XXI в. будут определяющими для нефтегазозоносного комплекса. Во втором блоке основное внимание уделено состоянию и перспективам развития портовой системы — основы Северного морского пути. В третьем блоке особое место занимают проблемы изменения среды обитания коренного населения как под влиянием климатических изменений, так и вследствие антропогенных воздействий, что ведет к развитию так называемого «модернизационного» стресса. Особое внимание было обращено к п-ову Ямал. На основании проведенного факторного анализа сделан главный вывод: этот полуостров не может рассматриваться как рядовая арктическая территория, главная ценность которой заключа-

ется только в огромном топливно-энергетическом потенциале. Это территория мирового экологического и социально-культурного наследия, которая должна иметь определенный статус, кодекс правил и норм освоения его ресурсов, чтобы сохранить весь уникальный комплекс на долгосрочную перспективу в целях устойчивого развития региона.

При анализе природопользования в Арктике были выделены особенности, которые сформировали современные предпосылки неустойчивого состояния региона. Удаленным арктическим прибрежным территориям свойственны свои сложившиеся структуры природопользования, расселения и этносоциальные культуры организации жизнедеятельности. В условиях современного развития нефтегазового бизнеса в арктических районах, как правило, сужается территориальная и акваториальная сфера деятельности коренного населения, ухудшается состояние окружающей среды и ограничивается доступ к природным ресурсам — основе традиционного природопользования. Природопользование в арктической зоне весьма конфликтно и служит областью необходимых согласований, взаимного уважения интересов всех ресурсопользователей и требует работы в общем информационном поле.

Основное внимание было уделено особенностям использования земельных ресурсов в прибрежной зоне, ставших главной проблемой ресурсопользования при практическом отсутствии планов территориального развития, слабости законодательных документов и передаче важнейших функций по контролю за землепользованием и охране окружающей среды в компетенцию федеральных органов. Это значительно ослабило позиции местных органов власти, затормозило процессы упорядочения структуры землепользования, а главное, серьезно затронуло интересы

местного населения, усилив и без того напряженную социальную обстановку. Арктические регионы, как показали исследования, входят в класс особо высокой уязвимости в социальном и экологическом плане и требуют принципиально иной региональной политики — с более справедливым соотношением национальных, региональных и муниципальных интересов.

\* \* \*

В рамках данной статьи не представляется возможным изложить все предварительные результаты МПГ, полученные в течение двух прошедших лет, поскольку исследования проводились по 160 проектам с участием 50 тыс. специалистов из 63 стран. Мы лишь попытались оценить беспрецедентный размах МПГ, касающихся всех сфер планеты.

Наряду с впечатляющими научными результатами следует отметить несколько серьезных достижений МПГ: расширение и модернизация метеорологических наблюдательных сетей в Арктике и Антарктике; разработка новых комплексных систем океанографических наблюдений в Северном Ледовитом и Южном океанах; создание базы спутниковых данных и продук-

ции, относящейся к полярным областям, в результате скоординированной деятельности космических агентств; выполнение новых инициатив в изучении гидрологического цикла и криосферы в полярных областях.

На основе этих достижений в настоящее время разрабатывается концепция сохранения наследия МПГ, которая включает развитие многодисциплинарной устойчивой и долговременной системы наблюдений в Арктике (SAON), создание системы наблюдений в Южном океане (SOOS), разработку Глобальной службы криосферы (GCW) и размещение флота спутников, освещающих полярные области. Создание этих систем может стать составной частью Международного полярного десятилетия, предложенного ВМО, одной из главных целей которого станет проведение долговременного мониторинга и исследований резких климатических изменений, обнаруженных в полярных регионах в период МПГ и влияющих как на всю планету, так и на экологию окружающей среды в полярных регионах и жизнь арктических общин.

Результаты МПГ 2007—2008 позволят сохранить национальное наследие — итоги деятель-

ности различных поколений исследователей полярных областей Земли для будущего использования; создадут потенциал для развития научных исследований и информационного обеспечения деятельности в полярных регионах; внесут значительный вклад в развитие отечественной и мировой науки; дадут возможность осознать пределы естественной изменчивости климатической системы и оценить тенденции будущих климатических изменений; составят основу для повышения качества прогнозирования состояния окружающей природной среды.

Заключительные слова заявления Объединенного комитета МПГ обращены ко всем живущим на нашей планете: «Полярные регионы являются неотъемлемой и быстро изменяющейся частью системы планеты Земля. Будущее окружающей человека среды, его благополучие и устойчивое развитие требуют всестороннего понимания полярных систем, процессов и изменений, происходящих в полярных регионах, а также наблюдения за ними. Послание МПГ звучит громко и отчетливо: то, что происходит в полярных регионах, сказывается во всем мире и затрагивает всех нас!» [8]. ■

*Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам ААНИИ Г.В.Алексееву, И.М.Ашику, В.Г.Дмитриеву, Б.В.Иванову, А.П.Макинтасу, С.М.Прямыкову, В.Ф.Радионову и сотрудникам Института географии РАН М.Ю.Москалевскому и Н.И.Осокину за предоставленные материалы.*

## Литература

1. Котляков В.М., Саруханян Э.И. Международный полярный год 2007—2008 // Природа. 2007. №3. С.34—40.
2. Allison I. et al. State of Polar Research. A Statement from the ICSU/WMO Joint Committee for the International Polar Year 2007—2008 // WMO. February 2009.
3. Dickson R.R. The Integrated Arctic Ocean Observing System in 2007 and 2008 // www.aosb.org>
4. IPCC 2007 Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Cambridge, 2007.
5. Алексеев Г.В., Нагурный А.П. Роль морского льда в формировании годового цикла диоксида углерода в Арктике // Доклады Академии наук. 2007. Т.417. №4. С.542—544.
6. Радионов В.Ф., Ламакин М.В., Хербер А. Изменения аэрозольной оптической толщины атмосферы в Антарктике // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т.38. №2. С.179—183.
7. Tomasi C., Vitale V., Lupi A. et al. Aerosols in Polar Regions: A Historical Overview Based on Optical Depth and in Situ Observations // Journ. of Geophys. Research. 2007. V.112. D16205 doi: 10.1029/2007JD008432.
8. Krupnik I. «The Way We See It Coming»: Building the Legacy of Indigenous Observations in IPY 2007—2008 // Smithsonian at the Poles. Washington, 2009. P.129—142.



# Ареалы северных птиц

А.В.Кречмар

Первая и основная задача любого регионального изучения орнитофауны — составление списков видов (а при возможности и подвигов) птиц, обитающих на данной территории. Эти списки часто используются для анализа истории формирования фауны в масштабах геологических периодов. Однако некоторые исследователи не учитывают, какие из отмеченных на данной территории видов птиц фоновые, какие редкие или даже пролетные, а то и просто случайные, залетные. Кроме того, одноразовые и особенно кратковременные посещения какой-либо местности далеко не всегда дают достаточно полное представление об орнитофауне из-за неустойчивости ареалов некоторых видов птиц. Вот именно на этом я хочу остановиться подробнее.

Изучением экологии птиц на севере Сибири я занимаюсь с 1956 г., а начиная с 1965 г. больше всего работал в северо-восточных регионах более чем двух десятках мест, при этом 16 полевых сезонов проводил исследования в среднем течении Анадыря и 19 — в бассейне р.Кава. Это позволило мне не только детально ознакомиться с видовым составом птиц, но и проследить за изменениями их численности, а порой и видового состава в разные годы.

Случилось так, что в последнее столетие орнитофауна северо-восточных окраин Сибири стала активно исследоваться —



**Арсений Васильевич Кречмар**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории орнитологии Института биологических проблем Севера ДВО РАН (Магадан). Область научных интересов — экология и мониторинг птиц (в основном пластинчатоклювых) на северо-востоке Сибири.

в первую очередь, в связи с интересом к проблемам Берингии и взаимного обмена видами азиатской и американской фауны. Благодаря этим работам в нашем распоряжении оказались данные по видовому составу и распространению птиц в этом отдаленном углу России в различные отрезки времени на протяжении последнего столетия, что значительно расширяет возможности оценки изменения ареалов некоторых видов. Приведу лишь несколько характерных примеров.

\* \* \*

Канадский журавль (*Grus canadensis*) — один из видов, ареал которого на северо-востоке Азии за последние 100—120 лет значительно расширился. Эту птицу, обладающую характерным внешним видом и громким голосом, трудно не заметить, поэтому можно доверять даже опросам местных жителей, которые проводили путешественники в разное время. В начале XX в. канадский жу-

равль часто встречался лишь в равнинных и слабохолмистых тундрах на востоке Чукотского п-ова в устье Анадыря (вверх вдоль долины не более чем на 300 км) [1]. Достоверных данных о гнездовании этой птицы вдоль северного побережья материка для того времени нет. Не приходится сомневаться, что ее не было в тундрах низовьев Колымы; во всяком случае там ее не нашел известный орнитолог С.А.Бутурлин, посетивший эти места в 1905 г. По свидетельству Л.А.Портенко, работавшего в бассейне Анадыря в начале 1930-х годов, канадский журавль не гнезвился западнее устья р.Белая.

Однако уже к середине XX в. эта птица, по данным К.А.Воробьева, успешно заселила северную часть Колымо-Индибирской низменности к западу до низовьев Алазеи [2]. Во время полевых исследований 1975—1990 гг. я выяснил, что канадский журавль гнездится в средней части Анадырской низменности. В 1969—1971 гг. В.Д.Яхонтов, работавший

в долине р.Пенжина, прилегающей к Анадырской равнине с юга, нашел канадского журавля и на этой территории [3]. Это свидетельствовало, что он начал осваивать Охотоморский бассейн.

В начале сентября 2007 г. мы проводили многочасовые облеты низинных территорий у основания п-ова Тайгонос в заливе Шелихова Охотского моря. В долине р.Парень журавлей не было, но вблизи морского побережья к западу от устья Гижиги наш вертолет несколько раз вспугивал готовые к отлету выводки этой хорошо заметной птицы. На Тайгоносе я бывал и раньше: так, в последних числах августа 1972 г. пересек пешком равнину, примыкающую к бухте Имлевеем, но никаких признаков присутствия там канадских журавлей не обнаружил. А вот мои коллеги А.В.Андреев и Г.И.Атрашкевич, посетившие те же места в конце июля 2009 г., не только встретили там канадских журавлей, но и по ряду признаков определили, что эти птицы там размножаются.

На п-ове Пягина я наблюдал летный выводок канадских журавлей в начале сентября 2008 г. в долине р.Пронькина, что почти на 400 км юго-западнее бухты Имлевеем. Поскольку места зимовки канадских журавлей находятся на американском континенте, маловероятно, что это были пролетные птицы, скорее всего, они гнездились где-то поблизости. В самые последние годы пары и одиночных журавлей иногда случалось наблюдать в весеннее время даже западнее Магадана, но это были безусловно кочующие птицы.

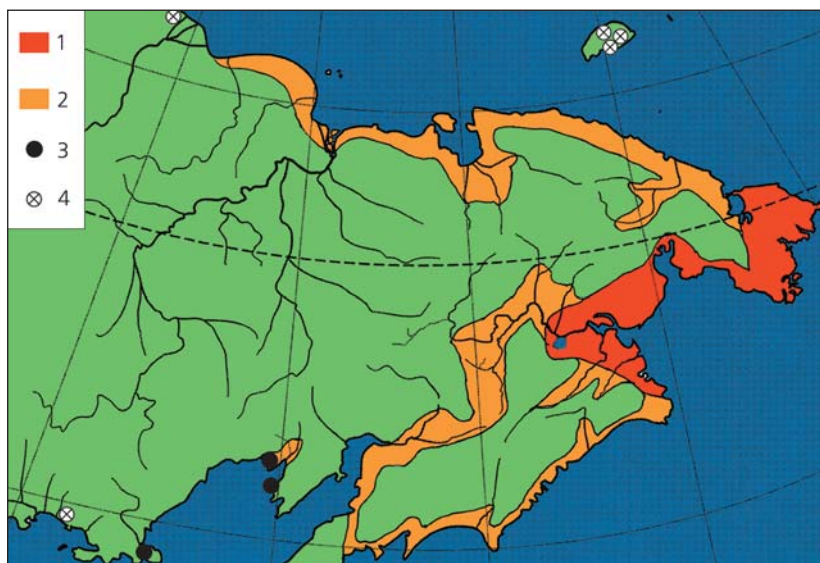
На о.Врангеля в 70-е годы прошлого столетия и я, и другие исследователи неоднократно наблюдали пары журавлей [4], но случаев их гнездования там никто не отмечал. Известны также залеты журавлей и западнее устья Индигирки [5].

Сорока (*Pica pica*) — хорошо всем знакомая птица, ареал которой на северо-востоке Азии за последнее столетие также зна-



Канадский журавль. Эта крупная, хорошо заметная птица, за последние 100 лет значительно расширила свой ареал на северо-востоке.

Здесь и далее фото автора



Распространение канадского журавля на азиатском материке.

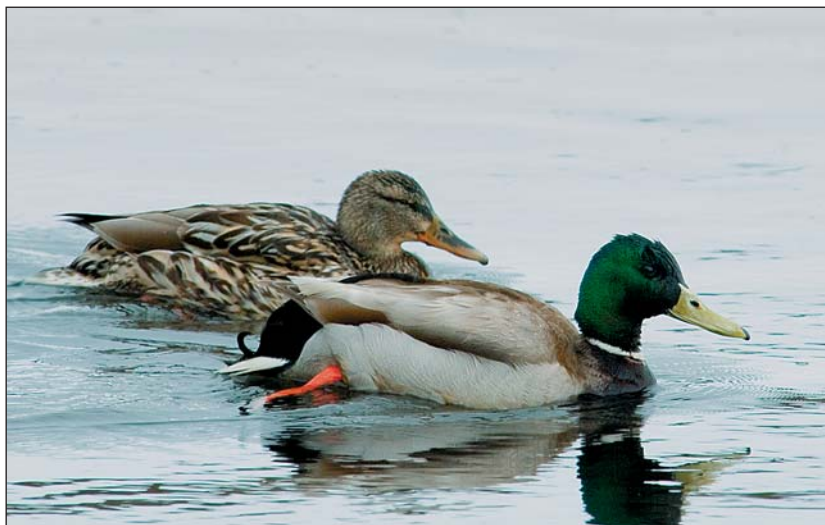
1 — предполагаемый ареал в начале XX в.; 2 — область распространения в настоящее время; 3 — зарегистрированные пункты гнездования; 4 — встречи негнездящихся птиц.



Сорока. За последние несколько десятков лет эта всем известная птица преодолела колымо-охотский водораздел и освоила долину р.Омолон.

чительно изменился. Еще в середине прошлого века эта птица встречалась в окрестностях Магадана, но потом по неизвестной причине исчезла [6]. Она полностью отсутствовала в бассейне Колымы, но была обычна в бассейне Анадыря и некоторых его верхних притоков, а также в Охотоморском бассей-

не — в долинах рек Парень и Гижига и к западу до р.Вилига [7]. В 1969—1974 гг. во время довольно длительных экспедиций я не обнаружил никаких признаков обитания сороки в среднем течении р.Омолон (крупного правого притока Колымы). Однако уже через 10—15 лет эта птица стала весьма обычной



Кряква. В последние десятилетия она сильно продвинулась в северо-восточном направлении, местами сильно потеснив шилохвость.

там — к северу до устья р.Олой и, возможно, ниже. Одновременно происходила экспансия вида и вдоль берега Охотского моря: в районе пос. Тахтаюмск и в низовьях р.Яма, а отдельные экзепляры стали встречаться и на окраинах пос.Ола, т.е. рядом с Магаданом.

Кряква (*Anas platyrhynchos*) столь же сильно распространилась за последние десятилетия. В начале 1970-х годов она редко гнездилась под Магаданом и практически никогда восточнее п-ова Кони. Есть, правда, сведения о редких случаях гнездования крякв в бассейне Пенжины [3]. Однако в последнее десятилетие прошлого века и в начале нынешнего численность кряквы под Магаданом заметно увеличивалась [8], а в последние годы эта утка местами сильно потеснила шилохвость (*Anas acuta*), став там в буквальном смысле слова массовым видом. Более того, кряква стала регулярно встречаться в верховьях Колымы, а вдоль охотоморского побережья гнездиться в заливе Кекурный на п-ове Пьягина и в бухте Пестрая Дресва в заливе Шелихова. Вполне вероятно, что эта утка в настоящее время проникла еще дальше на северо-восток до бассейна Пенжины, а возможно, даже до долины Анадыря, где в конце 1980-х ее еще не было [9].

Широконоска (*Anas clypeata*), другая весьма известная утка, у которой также расширился ареал на северо-востоке региона. В результате мониторинговых работ как в среднем течении Анадыря (1975—1990), так и в приохотском регионе в бассейне р.Кава (1991—2009) выяснилось, что численность этой утки все время медленно, но неуклонно увеличивалась. Чрезвычайно интересна встреча летом 2007 г. моего коллеги Атрашкевича с выводком широконоски на востоке Чукотки вблизи пос.Лорино, что говорит об ее проникновении и на север.

Хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*) также относится к ви-

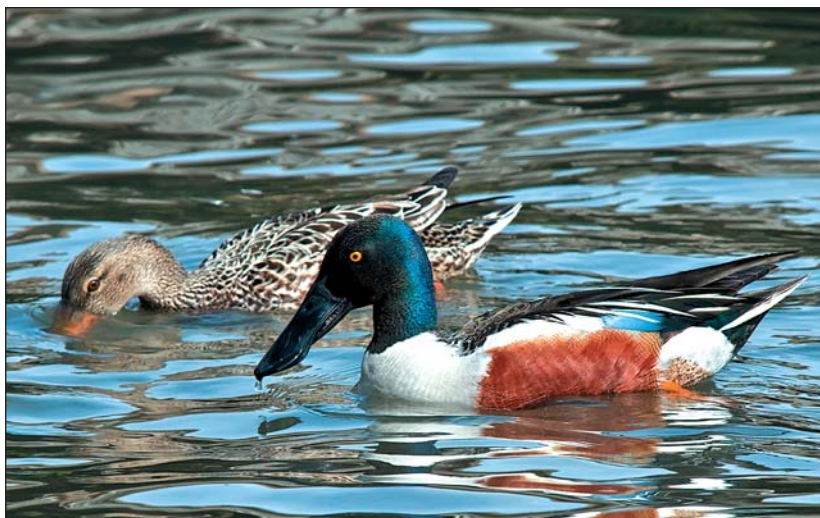
дам, распространившимся к северо-востоку за последние 80—100 лет. Известный орнитолог Л.А.Портенко, работавший в бассейне Анадыря в 1931—1933 гг., писал о хохлатой чернети как «об очень редкой и, по-видимому, появляющейся годами». Однако в 1970-х годах прошлого столетия она стала в той же самой местности самой обычной гнездящейся птицей.

Американская свиязь (*Anas americana*) — неарктический вид уток, который во времена исследований Портенко полностью отсутствовал в долине Анадыря, но в период наших наблюдений в 60—70-х годах уже населял там поймы рек вплоть до пос.Марково, легко образуя гибриды с обыкновенными свиязями (*Anas penelope*) местных популяций [9].

Красношейная поганка (*Podiceps auritus*) в 1930-х годах тоже отсутствовала в бассейне Анадыря [1], но спустя 40 лет стала там обычным гнездящимся видом [10].

Белошейная гагара (*Gavia pacifica*), другая хорошо заметная птица, в начале 1930-х годов, по наблюдениям Портенко, обитала «преимущественно в приморской полосе» Анадырского края [1]. Упомянутый исследователь, основная база которого находилась в пос.Марково, не встречал эту птицу западнее устья р.Танюер. По прошествии 40 лет (в 70-х годах) эта гагара стала постоянно гнездиться в среднем течении Анадыря [10], местами не уступая по численности чернозобой гагаре (*Gavia arctica*).

Наконец, еще одним видом, продвинувшимся к северу уже в самые последние годы, является большая горлица (*Streptopelia orientalis*). Этот голубь, столь характерный для центральных районов Якутии, в настоящее время стал, по моим наблюдениям в 2009 и 2010 гг., достаточно обычной гнездящейся птицей пойменных ландшафтов р.Хасын, в 50 км к северу от Магадана. Интересно отметить, что



Широконоска (вверху), хохлатая чернеть (в центре) и красношейная поганка (внизу). Во второй половине прошлого столетия они хорошо освоили бассейн Анадыря, где стали обычными гнездящимися птицами.



Малый дрозд. В начале XX в. гнездился в низовьях Колымы, в настоящее время уже там не встречается.

экспедиционная группа из Университета г.Сизэтл, собиравшая материалы по орнитофауне на том же участке поймы р.Хасын в 1992 г., не нашла там никаких признаков этой птицы.

Малый дрозд (*Catharus minimus*) — один из примеров северных птиц, ареал которых, напротив, сокращается. Например, еще в начале 20-го столетия норвежский орнитолог И.Курин довольно часто встречал малых дроздов вблизи арктического побережья Восточной Сибири вплоть до долины Колымы [11]. Однако с тех пор никто из многочисленных орнитологов, побывавших в тех местах, так ни разу и не видел эту неарктическую птицу. В настоящее время она на территории Евразии гнездится только кое-где на востоке Чукотки, в долине Анадыря и, вероятно, в пойме р.Пенжина [3]. Известны и буквально катастрофичес-

кие сокращения численности: так произошло в период моей активной жизни орнитолога с такими видами водоплавающих птиц, как чирок-клоктун (*Anas formosa*) и пискулька (*Anser erythropus*). Но, скорее всего, в том вина человека, а не каких-то природных процессов, поэтому останавливаться подробно на этом не станем.

Белая сова (*Nyctea scandiaca*) — классический пример так называемых номадных (от англ. nomad — кочевник, странник) видов птиц, область гнездования которых сильно варьирует в разные годы в зависимости от кормовых или метеорологических факторов, а иногда и тех и других вместе взятых, часто неразрывно связанных между собой. У этого хищника в годы с низкой численностью леммингов гнездовой ареал ограничивается арктическими островами и небольшими территория-

ми прибрежной тундры. В таких рефугиумах даже в самые неблагоприятные в пищевом отношении годы всегда размножается какое-то небольшое количество пар, но кладки при этом бывают небольшими и пополнение потомства невелико. Подавляющая же часть популяции белых сов в такие сезоны не размножается вовсе, птицы постоянно кочуют, облетая значительные территории и периодически оказываясь даже в лесотундре. Работая несколько сезонов в тундрах на западе Таймыра в начале 1960-х годов, я встречал одиночных белых сов, но никогда не находил их гнезд, хотя во время лодочных маршрутов доходил до низовьев р.Пясины. Однако, посетив те же самые места в 1973 г. — в год очень высокой численности сибирского и копытного леммингов, я нашел гнездящихся белых сов севернее 72 параллели, в сотнях километров от побережья моря Лаптевых. Сходная ситуация имеет место и в восточном секторе Арктики. Здесь белые совы, независимо от количества леммингов, всегда хоть в каком-то количестве гнездятся на о.Врангеля. В годы обилия грызунов их гнездовой ареал распространяется на значительные площади материковой тундры, захватывая иногда даже такие удаленные от арктического побережья участки суши, как возвышенный водораздел между бассейнами Анадыря и Колымы [10].

Болотная сова (*Asio flammea*) занимает в Евразии и Северной Америке обширнейший ареал, внутри которого места гнездования смещаются вслед за вспышками численности грызунов на той или иной территории. Работая почти 20 лет в окрестностях полевой базы в бассейне р.Кавы на юго-западе Магаданской обл. в условиях ландшафтов приохотской низинной лесотундры, я обычно наблюдал этих сов только в период сезонных миграций весной и осенью. И лишь дважды, в 2003 и 2005 гг., когда численность красных полевок

и экономок была высокой, болотные совы загнездились в низинных пойменных и припойменных ландшафтах с плотностью до одной пары на 1 км<sup>2</sup>, что для сов безусловно очень много.

Сходной стратегии придерживаются и некоторые широко распространенные представители отряда воробьиных (Passeriformes). Например, чечетки (*Acanthis flammea*) приступают к размножению после обильного урожая семян лиственницы на территориях, где многие годы этих птиц в гнездовое время можно было встретить лишь случайно [12]. Области гнездования кедровки (*Nucifraga caryocatactes*) и шура (*Pinicola enucleator*) в Восточной Сибири изменяются таким же образом, т.е. в зависимости от урожая орешков кедрового стланика — основного корма этих видов.

Интересны пульсации ареала большого пестрого дятла (*Dendrocopos major*). Эта птица широко распространена в районах произрастания сосны в центральной части Якутии и на Камчатке [13], при этом на севере Охотоморья она гнездится нерегулярно. Портенко не нашел большого пестрого дятла в бассейне Анадыря в 1930-х годах, не встретил его и я во время поездки в верховья Анадыря в 1970 г., но неоднократно наблюдал этих птиц в 1975 г. как близ пос.Марково, так и в среднем течении р.Еропол. Среди встреченных дятлов попадались и сеголетки, что свидетельствовало о размножении этих птиц в данном регионе. В последующие 15 лет исследований в бассейне этой реки я больше ни разу не видел больших пестрых дятлов. Чуть позднее, в 1993—1995 гг., орнитолог П.С.Томкович обнаружил, что этот дятел в долине Анадыря выше пос.Марково стал хотя и немногочисленной, но гнездящейся птицей [14]. Наконец, группа московских орнитологов, посетившая летом 2006 г. район оз.Красное в нижнем течении Анадыря, зарегистрировала гнездование



Болотная сова. Области ее гнездования на обширном ареале в Евразии и Северной Америке смещаются вслед за вспышками численности полевков.

большого пестрого дятла в поймах рек, впадающих в озеро с юга [15]. Из всего этого следует, что границы ареала этого хорошо заметного вида весьма непостоянны. Вполне вероятно, что их изменения каким-то образом также связаны с урожайностью орешков кедрового стланика, составляющих основной рацион этой птицы, особенно в районах, где не растет сосна.

\* \* \*

Таких примеров можно было бы привести еще довольно много, и все они свидетельствуют о том, что изменения ареалов птиц в высшей степени динамичны. Действительно, для большинства видов птиц не существует непреодолимых географических преград, и возможности распространения тех или иных видов определяются в первую очередь экологической пригодностью заселяемых территорий.

Очевидно, что проще всего дело обстоит с кочующими видами, которые в пределах своего ареала практически ежегодно

меняют область гнездования. С другими птицами (например, с канадским журавлем) дело обстоит несколько сложнее. У них есть так называемый центр распространения, т.е. какая-то основная часть заселенной видом территории, где условия существования для него оптимальны. В случае прогрессирующего процветания вида, сопровождающегося увеличением численности популяций, он стремится заселить прилегающие к основному ареалу территории, по своим природным условиям сходные с центром распространения. Если на осваиваемых территориях, несмотря на общее сходство условий обитания, существуют какие-либо ограничивающие факторы (слишком короткий безморозный период, чрезмерный пресс хищников, наличие конкурентных видов и т. д.), вид в этой местности не закрепляется. Так, несмотря на то, что канадские журавли практически ежегодно наблюдаются на о. Врангеля, никто ни разу не видел, чтобы они там гнездились.

Для перелетных птиц ограничивающим фактором может



Чечетка (слева сверху), кедровка (справа) и щур (внизу). Их области гнездования в пределах тайги и лесотундры Восточной Сибири зависят от обилия урожая семян лиственницы и кедрового стланика.

быть и слишком большая удаленность осваиваемых территорий от мест зимовок. Причины изменений численности вида в границах основного ареала могут быть самыми различными: например, периодически случающиеся флуктуации климата, а в последние столетия — вмешательство человека, выраженное в той или иной форме. Не исключено (как это и ранее предполагали некоторые орнитологи [5]), что изменения границ ареалов у некоторых видов птиц, в частности у канадского

журавля, носят периодический характер.

Такую пульсацию ареалов мне удалось проследить за почти двадцатилетний период работы в приохотской равнинной лесотундре бассейна р.Кавы. Здесь, как и во многих других регионах северо-востока Азии, распределение ландшафтов носит мозаичный характер: типично лесотундровые территории с обедненным редкостойным лиственничным лесом и тундроподобными марями соседствуют с довольно продук-

тивными речными поймами, обогащенными тополево-чозеневыми ленточными лесами, высокоствольными пойменными и припойменными лиственничниками и разнотравными полянами. В 1991 г. я обратил внимание на то, что в лесотундровых ландшафтах на фоне общей бедности орнитофауны полностью отсутствовали и все четыре вида дятлов, характерные для приохотского региона. В то же время я нашел много старых гнездовых дупел этих птиц. Уже в следующие годы

дятлы появились: в 1992 г. — малый пестрый и трехпалый, в 1993 г. — желна, а в 1996 г. — и большой пестрый дятел. Впоследствии птицы всех упомянутых видов регулярно гнездились на исследованной территории вплоть до 2002 г. Правда, желна была зарегистрирована на гнездовье только в 1993 и 1994 гг., а дольше всех «продержался» большой пестрый дятел. После 2002 г. я никаких дятлов в лесотундровых ландшафтах бассейна Кавы больше не встречал. Однако все эти птицы, в том числе и желна, ежегодно встречались в припойменных лесах рек Тауй, Челомджа, да и в низовьях Кавы, всего в нескольких десятках километров от исследованной территории.

С некоторыми видами воробьиных птиц происходило примерно то же, хотя в большинстве случаев менялся не видовой состав, а численность, причем отнюдь не синхронно. Для некоторых видов, например пухляка, поползня и чечетки, эти флуктуации довольно легко объяснялись метеорологическими и связанными с ними кормовыми факторами [12]. Однако для большинства видов воробьиных птиц эти колебания численности пока не удалось объяснить



Большой пестрый дятел. На северо-востоке Азии границы его ареала быстро меняются.

никак. Можно только сказать, что северное Охотоморье характеризуется чрезвычайно неустойчивыми метеорологическими ситуациями, а это прямо или опосредованно не может не отразиться на популяциях гнездящихся здесь птиц.

В связи с приведенными примерами я хочу еще раз напом-

нить любителям зоогеографических спекуляций о необычайной мобильности птиц, быстроте изменения их ареалов в зависимости от экологических условий заселяемых территорий и общего уровня процветания популяций. Все это делает исторические причины опосредованными и потому вторичными. ■

## Литература

1. *Портенко Л.А.* Фауна Анадырского края. Ч.2. Л., 1939.
2. *Воробьев К.А.* Птицы Якутии. М., 1963.
3. *Яхонтов В.Д.* Птицы Пенжинского района // Птицы северо-востока Азии. СПб.; Владивосток, 1979. С.135—162.
4. *Стишов М.С., Придатко В.И., Баранюк В.В.* Птицы острова Врангеля. Новосибирск, 1991.
5. *Кищинский А.А., Флинт В.С., Томкович П.С. и др.* Распространение и биология канадского журавля в СССР // Журавли Восточной Азии. Владивосток, 1982. С.70—75.
6. *Васьковский А.П.* // Зоол. журн. 1956. Т.XXXV. Вып.7. С.1051—1058.
7. *Кищинский А.А.* Птицы Колымского нагорья. М., 1968.
8. *Кречмар А.В.* Состояние популяций и мониторинг водоплавающих птиц в долине р.Кава // Ландшафты, климат и ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток, 2006. С.292—303.
9. *Кречмар А.В., Кондратьев А.В.* Пластинчатоклювые птицы северо-востока Азии. Магадан, 2006.
10. *Кречмар А.В., Андреев А.В., Кондратьев А.А.* Птицы северных равнин. Л., 1991.
11. *Thayer J.E., Bangs O.* // Birds Proc. New. Engl. Zool. Club. 1914. V.5. P.1—48.
12. *Кречмар А.В.* // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2009. №3. С.15—23.
13. *Лобков Е.Г.* Гнездящиеся птицы Камчатки. Владивосток, 1986.
14. *Томкович П.С.* Птицы верхнего течения р.Анадырь (Чукотка) // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. 2008. Т.49. С.101—158.
15. *Архипов В.Ю., Колбик Е.А., Редькин Я.А., Кондрашов Ф.А.* Птицы окрестностей озера Красное (Южная Чукотка) // Сборник трудов Зоологического музея МГУ. 2008. Т.49. С.159—184.



# Эволюция Северной Атлантики и глобального меж океанского круговорота

Н.П.Лукашина,

доктор геолого-минералогических наук

Атлантическое отделение Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Калининград

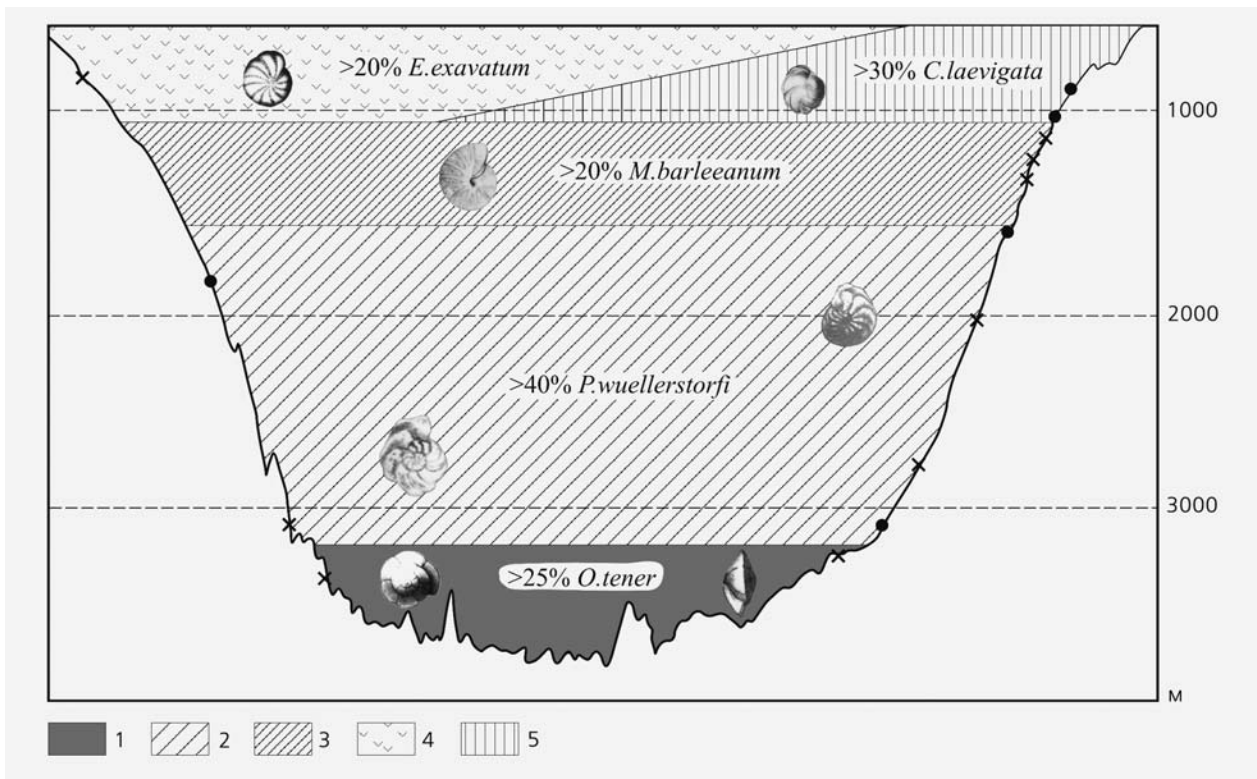
**Н**аучные сообщения  
 асимметричные  
 Климат зависит не только от энергии Солнца, но и от процессов, происходящих на самой Земле, причем в большей мере — от циркуляции водных масс в Мировом океане. Эта циркуляция, возникающая из-за разницы в температуре и солености воды, имеет вид непрерывного меж океанского конвейера, протянувшегося на 40 тыс. км [1]. Поверхностная вода из Северной Атлантики поступает в арктические моря, там охлаждается и опускается на большие глубины, а затем через Исландские пороги и желоба возвращается в Северную Атлантику. Отсюда она распространяется в сторону Антарктиды, а затем, в соответствии с системой циркумполярного глубинного течения, переносится в Индийский и Тихий океаны. На своем пути вода становится теплее и на севере Тихого океана поднимается к поверхности. Наиболее важный этап в формировании глобального меж океанского конвейера происходит в Северной Атлантике и в Норвежско-Гренландском бассейне: здесь теплая и соленая североатлантическая поверхностная вода трансформируется в соленую и холодную глубинную воду.

Расположение водных масс в океане, как в настоящее время, так и в прошлом, можно определить по сообществам фораминифер — мелких и разнообразных раковинок простейших организмов, из которых состоят широко распространенные на морском дне илы [2]. За миллионы лет из раковинок фораминифер образовались илы толщиной в сотни метров. Изучая послойно состав фораминиферовых сообществ, можно получить много ценной палеогеографической и палеоокеанологической информации — определить границы древних морей и океанов, их глубины, расположение поверхностных и придонных водных масс, оценить их свойства и динамику. Планктонные фораминиферы, распространение которых зависит главным образом от температуры воды, позволяют исследовать поверхностную циркуляцию Мирового океана. Более редкие, но более разнообразные бентосные фораминиферы, живущие на границе вода—осадок, дают возможность понять динамику промежуточных, глубинных и донных водных масс, отличающихся друг от друга по температуре, солености, содержанию кислорода, концентрации питательных веществ и др.

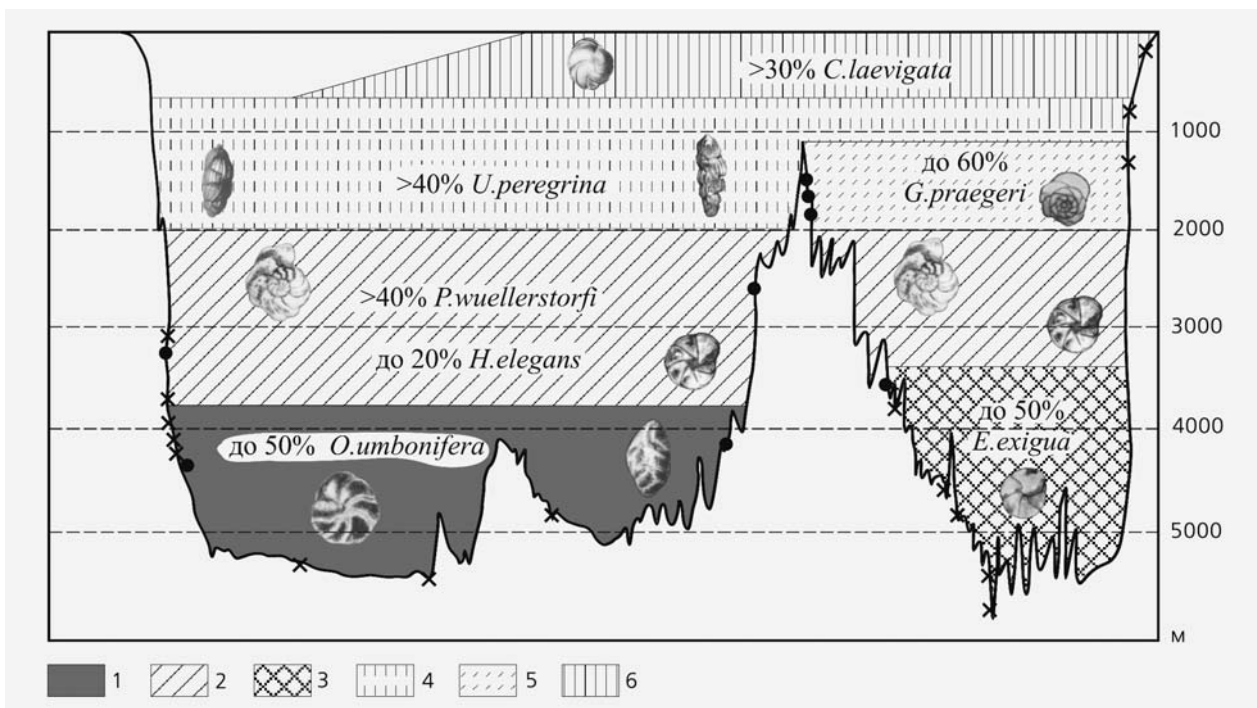
Количество раковинок бентосных фораминифер в 1 г океанских донных осадков может колебаться от единиц до тысяч, а видовое разнообразие — от четырех-пяти до 60 видов. Чаще всего преобладают один-два вида, по которым и называется сообщество [3]. В современном Норвежском море распростра-

нены пять основных сообществ бентосных фораминифер: в котловине, заполненной донной водой, обитает сообщество *Oridorsalis tener*; на склонах котловины, омываемых глубинной водой, распространено сообщество *Planulina wuellerstorfi*; верхняя часть склонов, с которыми соприкасается промежуточная вода, заселено сообществом *Cassidulina teretis*; шельфы Исландии, над которыми находится поверхностная арктическая вода, — сообществом *Melonis barleeaanum*. На норвежском шельфе, над которым проходит теплое и соленое североатлантическое течение (североатлантическая поверхностная часть глобального конвейера), обитают виды сообщества *Cassidulina laevigata*.

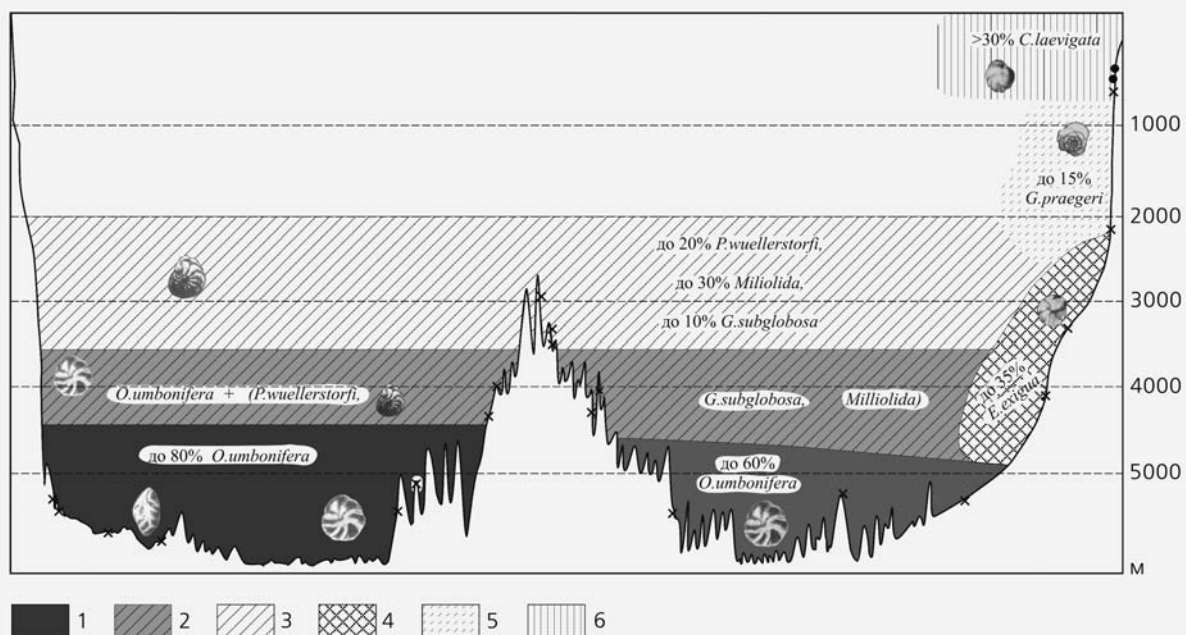
В современной Северной Атлантике тоже выделено несколько основных сообществ. Так, в Северо-Американской котловине, заполненной антарктической донной водой, обитает *Osangularia umbonifera*. Исландскую и Западно-Европейскую котловины, заполненные североатлантической донной водой, населяет *Epistominella exigua*. В котловине Лабрадорского моря выделено сообщество *E.exigua* и *Oridorsalis umbonatus*. На континентальных склонах Северной Америки, Европы и Срединно-Атлантического хребта, омываемых североатлантической донной водой (основным глубинным компонентом глобального конвейера)



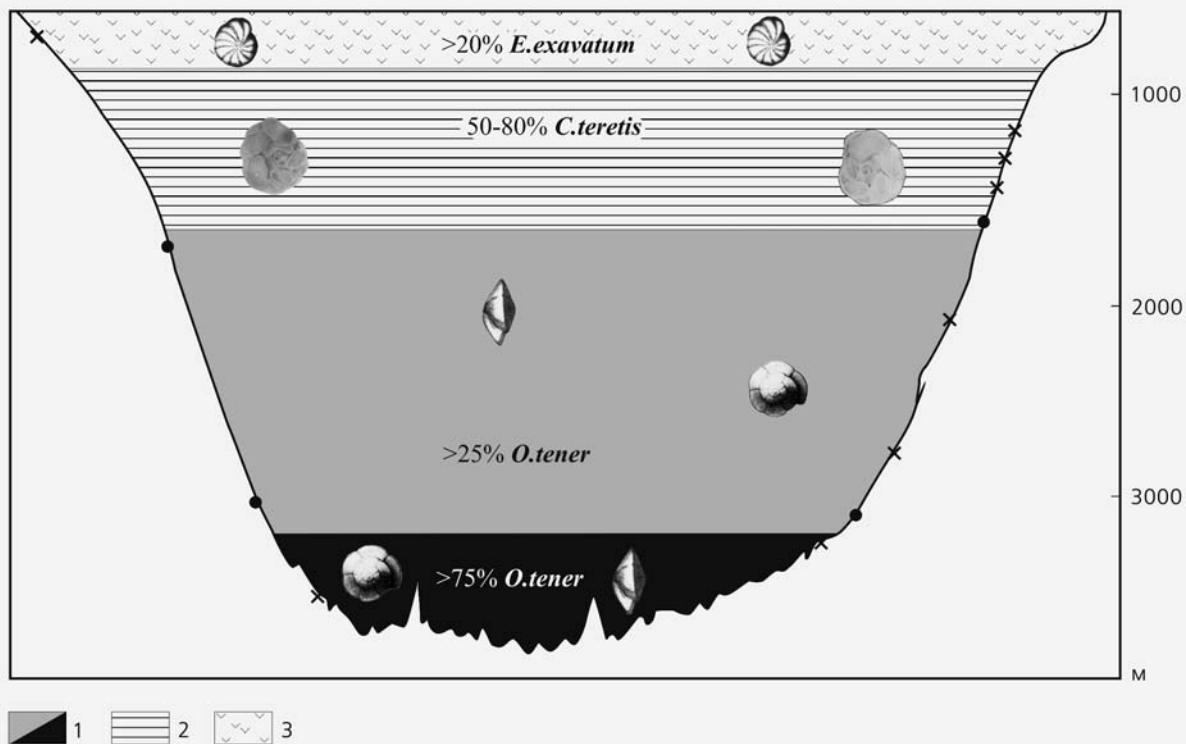
Современные сообщества бентосных фораминифер в Норвежском море. 1—5 — водные массы (1 — норвежская донная, 2 — глубинная, 3 — промежуточная, 4 — поверхностная, 5 — североатлантическая поверхностная). Здесь и далее: крестиками отмечены данные автора, точками — литературные данные.



Современные сообщества бентосных фораминифер в Северной Атлантике (примерно по 40°с.ш.). 1—6 — водные массы (1 — антарктическая донная, 2 — североатлантическая глубинная, 3 — североатлантическая донная, 4 — средиземноморская промежуточная, 5 — североатлантическая промежуточная, 6 — североатлантическая поверхностная).



Современные сообщества бентосных фораминифер в Северной Атлантике (примерно по 20°с.ш.). 1—6 — водные массы (1 — антарктическая донная, 2 — смешанная антарктическая донная и североатлантическая глубинная, 3 — североатлантическая глубинная, 4 — североатлантическая донная, 5 — средиземноморская промежуточная, 6 — североатлантическая поверхностная).



Сообщества бентосных фораминифер в Норвежском море во время последнего оледенения. 1—3 — водные массы (1 — норвежская донная, 2 — норвежская ледниковая промежуточная, 3 — норвежская ледниковая поверхностная).

ра), распространено сообщество *P.wuellerstorfi* и *Hoeglundina elegans*. В Северо-Восточной Атлантике, на верхних склонах Европы, Северной Африки и срединного хребта — в районах распространения средиземноморской промежуточной воды — обитает сообщество *Gavelinopsis praeegeri*, а на поднятии Рокколл, хребте Рейкьянес и европейском континентальном шельфе под североатлантической поверхностной водой, как и на норвежском шельфе, распространено сообщество *C.laevigata*.

С тех пор как началось глубоководное бурение в океанах и впервые была описана фауна фораминифер кайнозоя, мела и поздней юры, появилась возможность изучать эволюцию Северной Атлантики со времени ее раскрытия (150 млн лет назад) до настоящего момента, а значит, определить и время возникновения глобального меж-

океанского круговорота, проследить его эволюцию [4, 5].

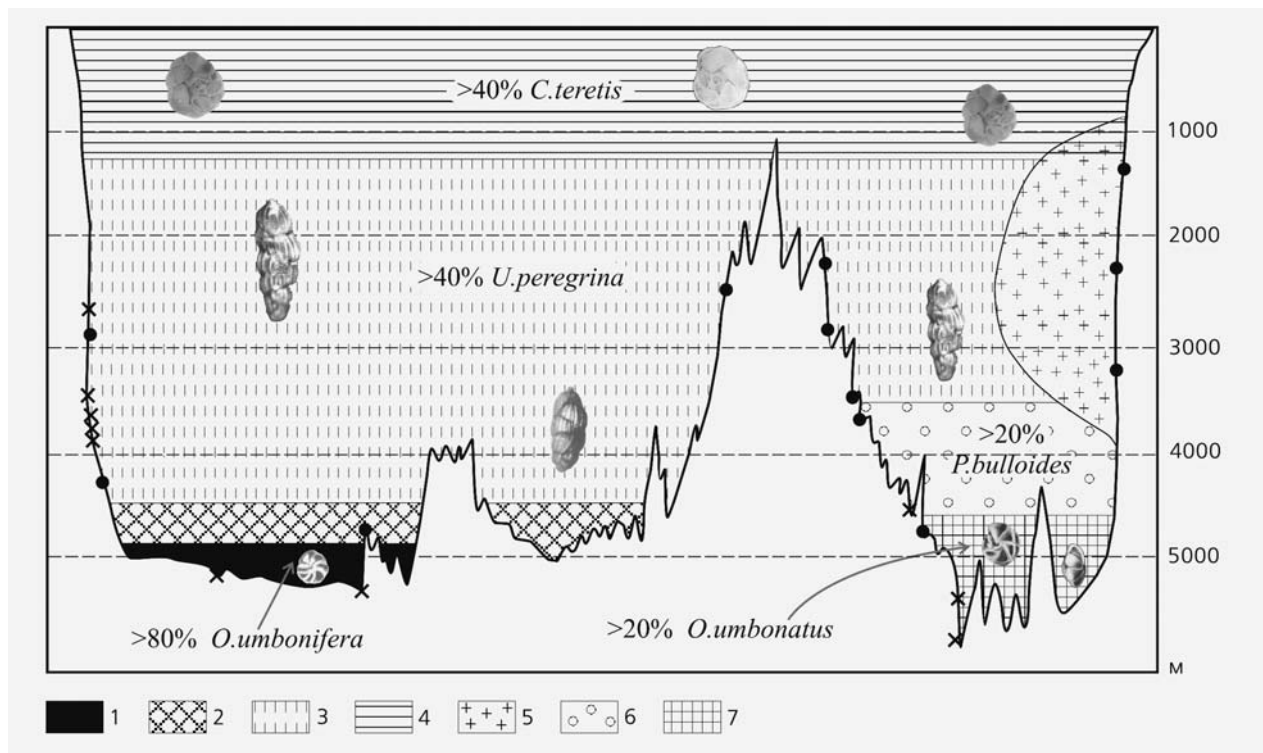
В **поздней юре** и **раннем мелу** (150—110 млн лет назад) северная часть Северной Атлантики была частью теплого мелководного бассейна, простиравшегося от атлантического побережья Северной Америки до Аральского моря. Этот бассейн был заселен нодозариидово-эпистоминидовым типом бентосных фораминифер, а в его более глубоководной южной части был распространен спирилинидово-лентикелинидовый тип фауны [2].

В **среднем мелу** (110 млн лет назад) Северная Атлантика начала сообщаться с Южной Атлантикой. Из-за перемен, произошедших в глубинной среде, предыдущий тип бентосных фораминифер сменился на более современный — аномалинидово-булиминидовый.

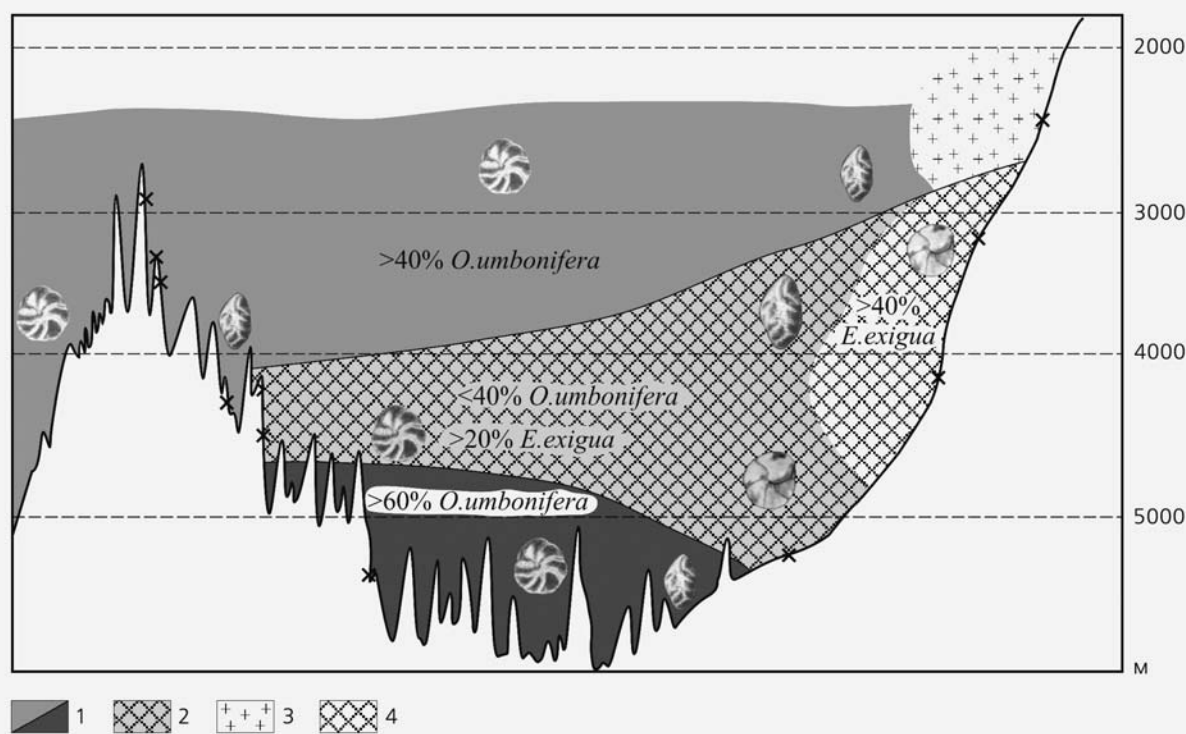
Незначительное обновление фауны глубоководных бентос-

ных фораминифер в Северной Атлантике, отмеченное на **границе мезозоя и кайнозоя** (65 млн лет назад), говорит о том, что в палеоцене океан унаследовал теплый климат и систему течений позднемелового периода, но в то же время планктонные фораминиферы и мелководные сообщества бентосных фораминифер, как и остальные организмы на Земле, сильно сократились в видовом и количественном отношении [4].

Первые изменения в глубоководной среде произошли в **среднем эоцене** (50—45 млн лет назад), когда среди бентосных фораминифер на европейском континентальном склоне появилась *E.exigua* [5]. Это событие связано с погружением Исландских порогов под уровень моря и установлением поверхностного водообмена между Северной Атлантикой и раскрывающимся Норвежским морем, в результате чего в Северной Ат-



Сообщества бентосных фораминифер в Северной Атлантике (примерно по 40°с.ш.) во время последнего оледенения. 1—7 — водные массы (1 — антарктическая донная, 2 — североатлантическая донная, 3 — «увигериновая», 4 — норвежская ледниковая поверхностная, 5 — «булиминовая» промежуточная, 6 — верхний слой «старой» донной воды, 7 — лабдорская донная).



Сообщества бентосных фораминифер в Северной Атлантике (примерно по 20°с.ш.) во время последнего оледенения. 1—4 — водные массы (1 — антарктическая донная, 2 — смешанная антарктическая и североатлантическая донная, 3 — «булиминовая» промежуточная, 4 — североатлантическая донная).

лантике началось формирование холодной североатлантической донной воды.

Резкое обновление видового состава бентосных фораминифер в Атлантическом океане произошло на **границе эоцена и олигоцена** (35 млн лет назад). С этого времени стали исчезать теплолюбивые виды, среди которых доминировал *Nuttalides truempyi*, и появляться новые виды, которые продолжили свое существование в неогене, а некоторые существуют и в настоящее время [6]. Это обновление свидетельствует об окончательной смене тепловодной мезозойской циркуляции на холодноводную кайнозойскую, что было вызвано усилением водообмена Северной Атлантики с арктическими морями, а также оледенением Антарктиды.

В **среднем олигоцене** (30 млн лет назад) из Южного

полушария в западную часть Северной Атлантики начала поступать антарктическая донная вода, вместе с которой в Северо-Американской котловине появилась *O.umbonifera* [7].

В **середине миоцена** (15—14 млн лет назад) в Северо-Восточной Атлантике стала доминировать *C. laevigata* — индикатор теплой поверхностной североатлантической воды [8]. Ее проникновение в Норвежское море привело к тому, что с **конца среднего миоцена** (12 млн лет назад) в Северной Атлантике формируется настоящая североатлантическая глубинная вода — основной компонент современного термохалинного конвейера. Установить это позволило появление в Северной Атлантике *P.wuellerstorfi* — ее современного индикатора.

Изменение изотопов кислорода в раковинах бентосных фораминифер показало [9], что

в **позднем миоцене** (10 млн лет назад) североатлантическая глубинная вода впервые появилась в атлантическом секторе Антарктики. Следовательно, с этого времени вступил в действие современный меж океанский термохалинный конвейер. В **среднем плиоцене** (3 млн лет назад) произошло окончательное закрытие Панамского морского пути в Тихий океан, и термохалинный конвейер усилил свою активность.

С **конца плиоцена** (2 млн лет назад) на Земле начались оледенения четвертичного периода. Но наиболее сильные колебания климата стали происходить примерно с **середины плейстоцена** (1 млн лет назад).

В межледниковые периоды позднего плейстоцена циркуляция водных масс в целом напоминала современную. Однако, судя по высокой концентрации *G.praegeri* на южной оконечнос-

ти хребта Рейкьянес, в Северную Атлантику во время последнего межледникового поступало гораздо больше теплой средиземноморской воды повышенной солености, чем в настоящее время. Эта промежуточная вода оказывала большое влияние на свойства североатлантической глубинной воды, не только усиливая ее поток в Норвежское море, но и делая ее более теплой и соленой. Таким образом, судя по бентосным фораминиферам, глобальный межконтинентальный конвейер во время последнего межледникового периода был интенсивнее современного, а климат на Земле, как показывают планктонные фораминиферы, теплее на 1–2°C [4].

В ледниковые периоды циркуляция водных масс принципиально отличалась от межледниковой циркуляции. Исчезновение *G.praegeri* из ледниковых сообществ бентосных фораминифер говорит о том, что в Северную Атлантику стало посту-

пать намного меньше средиземноморской воды, а это способствовало понижению температуры и солености североатлантической поверхностной воды и сокращению объемов ее поступления. При последующем максимальном оледенении Норвежского моря проникновение туда поверхностной воды окончательно прекратилось. Изменение сообществ бентосных фораминифер показывает, что в Норвежском море перестала формироваться глубинная вода, вместо нее котловину ниже 1600 м заполнила донная вода, над ней залегал слой промежуточной ледниковой воды, которая через Исландские каналы поступала в Северную Атлантику и распространялась над склонами Северной Америки и Европы. Еще выше находилась опресненная поверхностная норвежская ледниковая вода, омывающая также шельфы Северной Атлантики к северу от полярного фронта.

В связи с тем, что теплая поверхностная вода перестала поступать в Норвежское море, формирование североатлантической глубинной воды происходило в самой Северной Атлантике, но ее объем сократился в несколько раз. Вместо нее большую часть Атлантического океана стала заполнять относительно теплая, высокопродуктивная вода с низким содержанием кислорода, которая пришла из Южного полушария. Ее индикатором была *Uvigerina peregrina*, которая в настоящее время обитает в районах распространения циркумантарктической промежуточной воды.

Тот факт, что в ледниковые периоды позднего плейстоцена на огромных пространствах Атлантического океана распространилась изолированная от поверхности так называемая увигериновая вода, свидетельствует о несомненном сокращении активности глобального межконтинентального конвейера. ■

## Литература

1. Ланто С.С., Гулев С.К., Добролюбов С.А. и др. Северная Атлантика и ее влияние на климат Европы // Актуальные проблемы океанологии. М., 2003. С.8–54.
2. Басов В.А. Типы фауны бентосных фораминифер верхней юры и нижнего мела Северной Атлантики и их значение для палеогеографических реконструкций // Стратиграфия и палеогеография Северной Атлантики в меловом периоде. Л., 1980. С.73–77.
3. Лукашина Н.П. Палеоокеанология Северной Атлантики в позднем мезозое и кайнозое и возникновение современной термогалинной океанской циркуляции по данным изучения фораминифер. М., 2008.
4. Баращ М.С. Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М., 1988; Тогда погибли не только динозавры // Природа. 2010. №6. С.84–86.
5. Boltovskoy E., Watanabe S., Totah V.I. Okampo J.V. // Micropaleontology. 1992. V.38. №2. P.183–207.
6. Boltovskoy E., Boltovskoy D. // Rev. de Micropaleontol. 1988. V.31. №2. P.67–81.
7. Miller K.G., Katz M.E. // Micropaleontology. 1987. V.33. №2. P.97–149.
8. Gradstein F.M., Kaminski M.A., Berggren W.A. // Abh. Geol. B.-A. Wien. 1988. B.41. S.97–108.
9. Moore T.C., Piasias N.G., Keigwin L.D. // Mar. Micropal. 1981. №6. P.465–481.

# От Абрикосовых до Щукиных: «Новые русские» и наука

Н.Ю.Масоликова,

М.Ю.Сорокина,

*кандидат исторических наук*

*Дом русского зарубежья им.А.И.Солженицына*

*Москва*

Наука и бизнес — две вещи несовместные. Этот перефраз известных пушкинских строк был сердцевиной господствовавшего многие годы стереотипа общественного сознания. Что важнее для развития науки: деньги или свобода? Еще вчера ответ на этот вопрос казался очевидным, сегодня он представляется более сложным. Российский опыт 20-го столетия — расцвет многих научных дисциплин в годы сталинского режима и их стагнация в период демократического реформирования страны — поставил обескураживающие вопросы не только перед учеными. Между тем исторический опыт наших соотечественников, да и весь опыт современной науки свидетельствуют, что само противопоставление науки и бизнеса, денег и свободы достаточно абсурдно.

## Первые научные меценаты

На рубеже XIX—XX вв. Российская империя энергично трансформировалась из окраинной аграрной страны в индустриальное государство. Научное общество, накопившее к тому времени значительный интеллектуальный и технологический потенциал, искало новых партнеров для инвестиции своих идей, знаний и опыта в развитие страны. Оно стремилось разви-

вать интенсивное взаимодействие одновременно и с имперской властью, и с молодой российской буржуазией. Последняя весьма активно поддерживала создание новых образовательных и научных учреждений.

Создание первых российских научно-исследовательских институтов обязано именно поддержке отечественных меценатов. Достаточно вспомнить историю знаменитого Института экспериментальной медицины, любимого детища принца Александра Петровича Ольденбургского (1844—1932), или Психоневрологического института, созданного в 1907 г. выдающимся отечественным психоневрологом Владимиром Михайловичем Бехтеревым (1857—1927) и первыми годами своего существования обязанного исключительно частным пожертвованиям.

Свой выбор меценаты делали вполне осознанно. Предпринимательская Россия стремилась вкладывать деньги в самую передовую науку и поддерживала именно те направления, которые мы сегодня назвали бы инновационными. Важно, однако, что капиталы тогдашних «новых русских» направлялись не только на стимулирование прикладных научных исследований, обеспечивающих технологическое перевооружение, на повышение эффективности производства и тому подобные составляющие экономического прогресса общества, но и на пе-

реустройство ментального и культурного ландшафтов. Наиболее дальновидные предприниматели, понимавшие невозможность и бессмысленность технологической революции вне «нового человека», активно и щедро вкладывали деньги в науку, образование, медицину.

Так, управляющий Томским отделением Сибирского торгового банка Валериан Тимофеевич Зимин (1847—1911) поддерживал идею разработки новых принципов воспитания человека с ранних лет и реорганизации российского народного образования на этой основе. За созданием программы экспериментального изучения психики ребенка банкир обратился к Бехтереву, известному не только своими пионерными научными исследованиями, но и выдающимися организаторскими способностями и удивительным чутьем на все новое, в том числе в сфере научного менеджмента. Научный авторитет и репутация открытого новациям научного администратора — вот две главные составляющие, привлекавшие значительные частные капиталы в Петербургский психоневрологический институт. В 1907 г. Зимин пожертвовал бехтеревскому институту капитал в процентных бумагах на сумму в 52 200 руб. и наличными деньгами 160 руб. 71 коп. «для устройства при институте интерната с психологической лабораторией для изучения и воспита-

ния человека с первых дней его жизни до конца школьного возраста, а буде возможно, то и до совершеннолетия» [1. С.23]. По условиям передачи капитала часть пожертвованных средств шла на постройку каменного здания интерната с психологической лабораторией на принадлежавшей институту территории. Остальной капитал должен был поступить в неприкосновенный фонд в память известного педагога Константина Дмитриевича Ушинского (1824—1871); на проценты с этого капитала институт и должен был содержать интернат. В соответствии с договором Зимин оставался пожизненным попечителем интерната. Уполномоченным для принятия капитала институт предлагал профессора-психиатра Митрофана Степановича Добротворского (1858—1911), заведовавшего денежно-хозяйственной частью. В результате соглашения интернат, построенный и содержавшийся на деньги Зимина, в дальнейшем послужил основой для организации самостоятельного Педологического института в рамках Психоневрологической академии.

«Бехтеревская акция» Зимина не была его единственным пожертвованием. Кроме того, он передал более 100 тыс. руб. на строительство Бактериологического института при Томском университете, устраивал народные библиотеки и читальни, воскресные школы, учредил несколько стипендий учащимся сибирякам в петербургских высших учебных заведениях. Разумеется, такое масштабное участие предпринимателя в развитии инфраструктуры научных исследований стало возможным благодаря высокому интеллектуальному уровню самого Зимина, который получил высшее образование в Льежском университете (Бельгия). В то же время его благотворительные инициативы отражали важную общую тенденцию и даже моду того

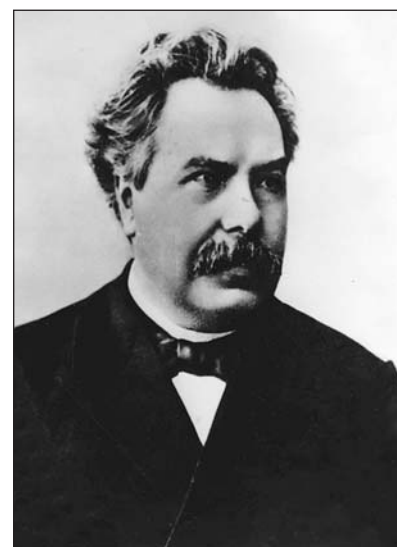
времени на безвозмездную поддержку национальной науки.

Предприниматели, не заканчивавшие университетов, также стремились участвовать в этом своего рода «общенациональном проекте» и за советами по использованию своих капиталов в благотворительных целях обращались к научным экспертам. Так, профессор Московского университета физик Николай Алексеевич Умов (1846—1915) консультировал в 1902 г. промышленника Христофора Семеновича Леденцова. Когда после кончины Леденцова выяснилось, что его капиталы (около 2 млн руб.) завещаны «на науку», было решено учредить Общество содействия успехам опытных наук и их практических применений им.Х.С.Леденцова при Московском университете и Московском техническом училище [2. С.125—128]. Именно Леденцовское общество, как его называли неофициально, стало той организацией, которая еще в 1910—1911 гг. поддержала изыскания В.И.Вернадского и его коллег по изучению радиоактивных материалов Российской империи. И это всего лишь несколько примеров благотворительности в научной области, которые можно увеличивать.

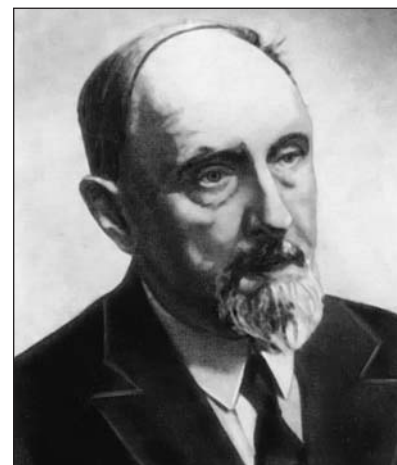
Значительно менее известен вклад самих «новых русских» в науку и научные исследования. Между тем если их первое поколение было занято в основном развитием производства и накоплением капитала, то дети предпочитали иной жизненный путь и часто шли в науку, где достигали самых больших высот. Интересно и то, что они выбирали, как правило, те научные дисциплины, которые бесконечно далеко отстояли от занятий их предков. Так, сын купца 1-й гильдии Сергей Григорьевич Елисеев (1889—1975) стал крупнейшим русским, а затем, в эмиграции, американским и французским востоковедом-японистом, основателем американской школы японистики. Археолог и историк восточного искусства



Принц А.П.Ольденбургский.

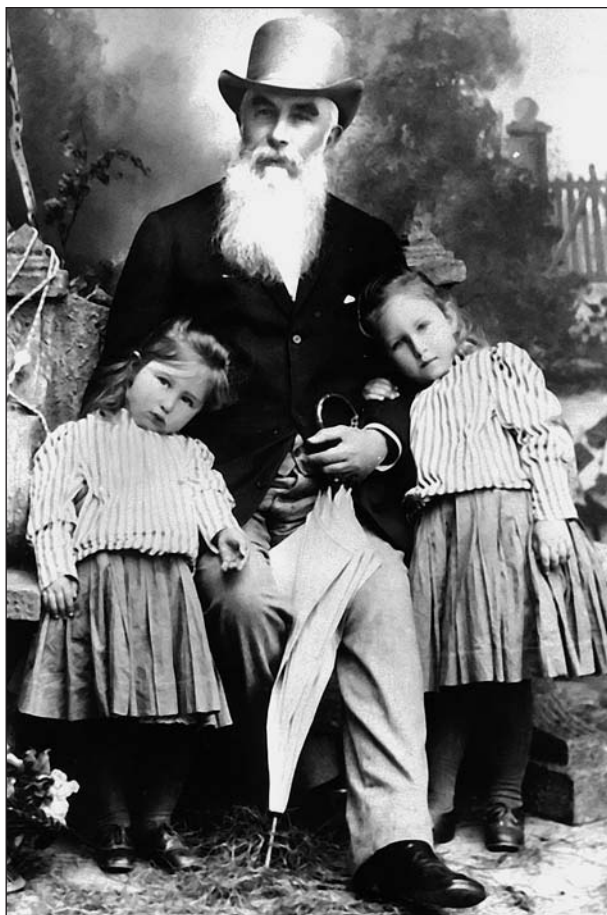


Х.С.Леденцов.

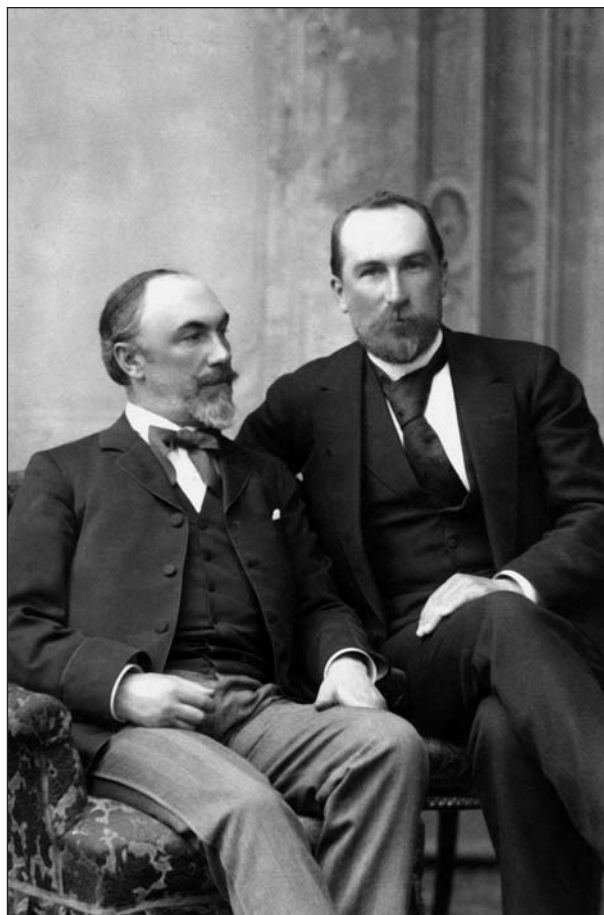


Д.П.Рябушинский.





Знаменитый кондитер Алексей Иванович Абрикосов с внучками Рахмановыми. Москва. Вероятно, 1894 г.



Братья Николай и Алексей Алексеевичи Абрикосовы. Москва. 1894 г.

ва, первооткрыватель «бронзового века» Юго-Восточной Азии Виктор Викторович Голубев (1878—1945), также представитель известной промышленной династии, четверть века преподавал во Французской школе Дальнего Востока и первым осуществил археологическую аэрофотосъемку Индокитая. Специалист по аэродинамике Дмитрий Павлович Рябушинский (1882—1962), представитель известного предпринимательского рода, еще в 1904 г. создал в своем имении Кучино под Москвой Аэродинамический институт, а после вынужденного ухода в эмиграцию продолжал исследовательскую и преподавательскую работу во Франции и воспитал целую школу специалистов по аэродинамике и механике [3. С.153—165].

Становление и развитие российской психологии как самостоятельной научной дисциплины тесно связано с именами представителей двух русских предпринимательских династий — Абрикосовых и Щукиных.

### Абрикосовы

Знаменитая московская предпринимательская династия Абрикосовых, известная с конца XVIII в., подарила России целую плеяду выдающихся имен во всех областях деятельности — от дореволюционного «кондитерского короля» Алексея Ивановича Абрикосова (1824—1904) до нобелевского лауреата по физике, академика РАН Алексея Алексеевича Абрикосова. В отличие от многих канувших

в лету или полузабытых имен российского прошлого, фамилия Абрикосовых широко представлена на современной карте Москвы. Тихий Абрикосовский переулок в Хамовниках назван в честь патологоанатома, действительного члена двух академий — медицинских наук и АН СССР Алексея Ивановича Абрикосова (1875—1955), больше всех знавшего о тайнах кремлевской жизни и смерти. Родильный дом на Миусах носит имя Агриппины Александровны Абрикосовой (1832—1901), его основательницы и одной из самых щедрых благотворительниц дореволюционной Москвы. Да и «Раковые шейки» и «Гусиные лапки», которые так любят наши дети, — бренды, придуманные Абрикосовыми, а популярный шоколад «Бабаев-

ский» — на самом деле «Абрикосовский».

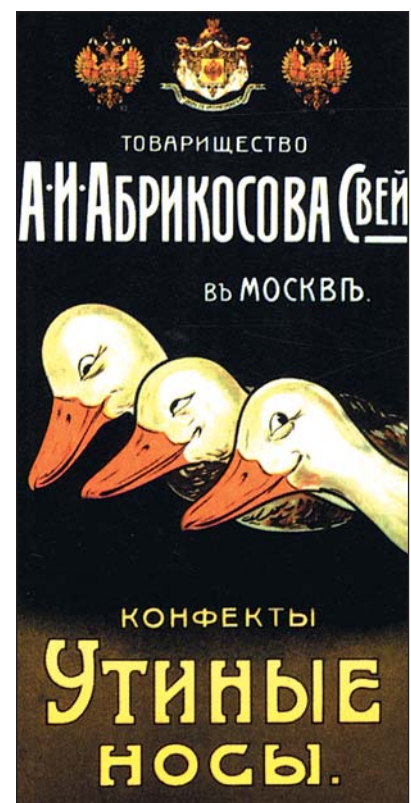
Несмотря на то, что семейный бизнес требовал огромного внимания и контроля, сыновья «кондитерского короля» А.И.Абрикосова — братья Николай (1850—1936) и Алексей (1856—1931) Алексеевичи Абрикосовы — свое сердце отдавали науке и стояли у истоков создания в 1884 г. первого в России Московского психологического общества. Инициатором его создания выступил философ Матвей Михайлович Троицкий (1835—1899), в течение многих лет декан историко-филологического факультета Московского университета и его ректор (1895—1896). Любопытно, что общество возникло сразу после того, как в 1884 г. в России был введен новый университетский устав, в соответствии с которым логика и психология были изъяты со всех факультетов, кроме историко-филологического. Между тем Общество объединило таких видных ученых-естествовников, профессоров Московского университета, как математик Н.В.Бугаев, антрополог Д.Н.Анучин, зоолог А.П.Богданов, медик А.Я.Кожевников, и тем самым сохранило тренд на развитие психологии как экспериментальной науки. Его Устав был утвержден 15 июля 1884 г., а уже 24 января 1885 г. состоялось первое организационное заседание. По воспоминаниям Я.Н.Колубовского, «скоро [Общество] сделалось самым популярным в Москве, и бывать на его заседаниях было чуть не признаком хорошего тона. Ряды Общества стали развиваться. На заседаниях бывал и Л.Н.Толстой, выступавший даже с докладом. После цикла заседаний, посвященных вопросу о свободе воли, явилась мысль издать все доклады отдельным томом, а отсюда было уже недалеко и до мысли о собственном журнале. Остановка была за средствами...» [4. С.136]. Эти средства были обеспечены братьями Абрикосовыми, и благодаря их матери-

альной поддержке с 1889 г. в России стал издаваться первый психологический журнал «Вопросы философии и психологии», имевший значительную популярность в самых широких кругах интеллигенции. В 1890-е годы количество его подписчиков достигало почти 2 тыс. человек, что было весьма значительным числом для того времени.

Николай Абрикосов, совладелец «Товарищества А.И.Абрикосова сыновей» и член его совета директоров, с юности мечтал о науке. «Одна из могучих потребностей человеческого духа, — писал он сестре в ноябре 1880 г., — это стремление к истине. Потребность ненасытная, ибо достичь истины не дано человеку, а потому потребность вечная, непроходящая. Всякое, хотя ничтожное, хотя самое слабое удовлетворение этих потребностей дает человеку высокое счастье» [5]. Николай окончил физико-математический факультет Московского университета, опубликовал несколько научных статей, в том числе в журнале «Вопросы философии и психологии», и под псевдонимом Абров книгу «От Марселя до Одессы через Афины и Константинополь. Впечатления и заметки» (М., 1893). Однако как старший наследник он был вынужден отдавать большую часть времени сладкому семейному бизнесу, хотя, по воспоминанию его сына Хрисанфа, «внутренняя борьба его со средой и отвращение к наживе проходили красной нитью через всю его жизнь» [5]. Активное участие в работе Московского психологического общества служило для Николая Абрикосова своего рода компенсацией за невозможность посвятить жизнь естественным наукам. С момента основания Общества он был его членом и в течение двух десятилетий, до 1905 г., бессменным казначеем, обеспечивавшим спокойную и эффективную работу общества. Одновременно Н.А.Абрико-



Мармелад царский Товарищества «А.И.Абрикосова сыновей». Плакат. 1900-е годы.



Конфеты «Утиные носы» Товарищества «А.И.Абрикосова сыновей». Плакат. 1900-е годы.



Патологоанатом Алексей Иванович Абрикосов. Москва. 1939 г.



Алексей Алексеевич Абрикосов, лауреат Нобелевской премии по физике, племянник Д.И.Абрикосова. Москва. 1950-е годы.

сов был издателем журнала «Вопросы философии и психологии» и входил в состав его редколлегии. На его средства был напечатан ряд работ М.М.Троицкого, в том числе «Наука о духе. Общие свойства и законы человеческого духа» (Т. 1—2. М., 1882) и «Немецкая психология в текущем столетии. Историко-критическое исследование с предварительным очерком успехов психологии в Англии со времен Бэкона и Локка» (Т. 1—2. М., 1883). Женившись на Вере Николаевне Кандинской (1852—1925), кузине отца художника В.В.Кандинского, он имел от нее шестерых детей и совместно с ними воспитывал еще пять племянников, детей скончавшегося брата Ивана. Щедрый благотворитель, Н.А.Абрикосов в конце жизни оказался практически лишенным средств к существованию в советской России, но, сохраняя присутствие духа, занимался переводами из Рабиндраната Тагора и других философов. Его мечту о науке реализовали уже внуки: Николай (1908—1988) стал металловедом, доктором химических наук, а Илья (1915—1999) — геологом-нефтяником, доктором геолого-минералогических наук.

Младший брат Н.А.Абрикосова, Алексей, был товарищем назначен Психологического общества и соиздателем журнала «Вопросы философии и психологии». Он получил высшее образование за границей, в дрезденском политехникуме, и после возвращения в Россию и женитьбы на Надежде Николаевне Хлудовой (1862—1936), также наследницы богатого московского купеческого рода совладельцев Кренгольмской мануфактуры\*, открыл литературно-художественный салон, где

\* Вскоре этот брак распался. В 1900 г. Надежда Абрикосова венчалась с Карелом Крамаржем (1860—1937), будущим первым премьер-министром независимой Чехословакии. После 1917 г. Н.Н.Крамарж активно поддерживала русскую эмиграцию в Праге.

можно было встретить многих известных писателей, артистов, ученых. Стремление максимально интегрироваться в элитную культурную и научную среду было общей чертой второго поколения «новых русских». Дипломат Дмитрий Иванович Абрикосов (1876—1951), племянник братьев Н.А. и А.А.Абрикосовых, с грустью отмечал, что «третье поколение делало следующий шаг, строя карьеру, уже не связанную с коммерческой деятельностью, или просто ведя свободную жизнь, но, как правило, они поддерживали наиболее крайние течения искусства или политики и обычно растрачивали наследство, заработанное тяжелым трудом их дедов и отцов» [б. С.30].

Между тем в случае Абрикосовых эта закономерность не оправдалась. И дети, и внуки, и другие члены рода вели достаточно скромный образ жизни и сохраняли искреннюю привязанность к науке и искусству. Уместно сказать, что дочери А.И.Абрикосова связывали свои судьбы с представителями научного сообщества: Софья (1865—1948) вышла замуж за медика, впоследствии главного врача родильного дома им. А.А.Абрикосовой, профессора Александра Николаевича Рахманова (1861—1926); Любовь (1866—1949) стала женой одного из основателей российской судебной медицины, профессора Московского университета Петра Андреевича Минакова (1865—1931); Надежда (1874—1951) вступила в брак с Сергеем Николаевичем Васильевым (1870—1949), сотрудником Политехнического музея. «Научную линию» генеалогии Абрикосовых поддержала дочь Н.А.Абрикосова Вера (1875—1942), вышедшая замуж за Николая Александровича Шилова (1872—1930), профессора Академии химической защиты РККА [7. С.85—91]. Их дочь Ирина (1898—1958), инженер-химик, связала свою судьбу с выдающимся специа-

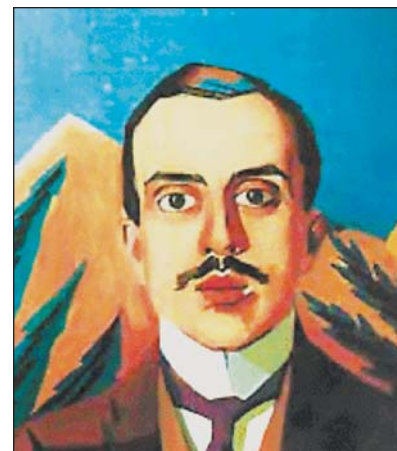
листом в области авиамоторостроения Борисом Сергеевичем Стечкиным (1891—1969), академиком АН СССР и первым директором Института двигателей АН СССР.

Среди потомков «кондитерского короля» — профессор механико-математического факультета Московского университета Андрей Минаков (1893—1954); профессор Московского Технологического института легкой промышленности Сергей Васильев (1904—1999); выдающийся гематолог, лауреат Государственной премии СССР, профессор Петр Васильев (1905—1990); член-корреспондент РАН, цитолог Юрий Васильев и многие другие специалисты, посвятившие себя служению науке.

### Щукины

Если Абрикосовы внесли значительный вклад в пропаганду психологии как самостоятельной научной дисциплины и поддерживали деятельность профессионального психологического сообщества, то создание первого в России психологического научно-исследовательского института связано уже с именем другого, но тоже московского, предпринимательского рода — Щукиных.

Как известно, братья Щукины вошли в историю мировой культуры как страстные и удачливые коллекционеры произведений искусства. Николай Щукин собирал старинное серебро, Петр коллекционировал фарфор, жемчужное шитье, древние книги и эмали. Благодаря удивительному «чутью изящного» и подвижнической деятельности Сергея Ивановича Щукина (1854—1936) его особняк на Знаменке, вблизи строящегося в то время Цветовского Музея изящных искусств императора Александра III, стал родным домом для произведений европейских художников, прежде всего им-



Портрет И.С.Щукина. Картина Мартироса Сарьяна. 1911 г.

прессионистов и постимпрессионистов (К.Моне, Э.Дега, П.Сезанна, П.Гогена, П.Пикассо, А.Матисса, А.Руссо и др.).

В историю науки имя С.И.Щукина навсегда вошло как имя мецената, обеспечившего создание первого в России психологического научно-исследовательского и образовательного института, торжественно открытого в Москве 23 марта 1914 г. Институт входил в состав Московского университета и носил имя первой жены С.И.Щукина — Лидии Григорьевны Кореневой (1864—1907). Многие годы считалось, что финансовое участие Щукина в этом проекте было обусловлено прежде всего его тяжелым душевным состоянием, связанным с трагической кончиной в течение 1905—1910 гг. нескольких ближайших членов его семьи — сыновей Сергея и Григория, жены и брата Ивана — и желанием увековечить их память.

Однако эта версия не очень ловко объясняет, почему проект именно психологического института был избран С.И.Щукиным для этой цели. Архивные документы свидетельствуют, что выбор не был случайным или импульсивным поступком миллионера. Интерес к глубинам человеческой психики был обусловлен у С.И.Щукина не только печальными событиями



Г.И.Челпанов в группе членов Психологического института.

в семье\*\*, но и вполне рациональными причинами. Сын Сергея Ивановича Иван, в те годы студент Московского университета, был участником знаменитого Психологического семинария профессора Георгия Ивановича Челпанова (1862—1936) и выступил инициатором привлечения отца к реализации мечты профессора о специализированном психологическом институте.

Фигура Ивана Щукина заслуживает того, чтобы сказать о нем отдельно. Он родился 2 января 1886 г. в Москве [8], здесь же в 1904 г. окончил частную гимназию Л.И.Поливанова. Интерес к философии привел его весной 1906 г. на семинар профессора-

\*\* Оба сына покончили жизнь самоубийством.

неокантианца Германа Когена в Марбургском университете (Германия) и на философское отделение историко-филологического факультета Московского университета. Здесь почти одновременно с ним и у тех же профессоров учится Борис Пастернак. Но в отличие от поэта, очень скоро сказавшего «Прощай, философия», Щукин-младший постоянно участвовал в работе Психологического семинария Г.И.Челпанова (выступил с докладом «О вещи в себе по Когену», неоднократно оппонировал коллегам), а в 1911 г., по окончании курса, за сочинение «Учение Шопенгауэра о вещи в себе в связи с его критикой кантовой философии» был удостоен диплома I степени. По представлению профессора Льва Михайловича Лопатина (1855—1920), предсе-

дателя Московского психологического общества в это время, Ивана Щукина оставили для приготовления к профессорскому званию по кафедре философии на два года без содержания [8].

В годы учебы Щукин-младший познакомил отца с Г.И.Челпановым, который в диалоге с С.И.Щукиным в 1910 г. показал себя не просто носителем абстрактной идеи и очередным просителем средств, но обрисовал вполне конкретные планы и представления о характере и структуре будущего научно-исследовательского института, тонко увязав их с патриотическим настроением потенциального благодотворителя. Он отметил, что в Германии психологические институты, совмещающие функции исследовательского и образовательного характера, стали возникать еще лет 20—25 назад (лаборатория Вильгельма Вундта в Лейпциге — 1879 г.), а Россия отстала в этом процессе. По мысли профессора, создание нового института должно было способствовать первенству страны в новой научной области: «По размерам и богатству, оборудованию, — писал Челпанов, [институт] будет не только превосходить все европейские институты, но будет равняться самым большим американским. Это будет первый институт в мире, который строится со специальной целью... и может сделаться центром широкого распространения психологических знаний по всей России» [9. Л.2-2об.].

Получив принципиальное согласие мецената на безвозмездное выделение очень значительных по тем временам средств — 100 тыс. руб. на постройку здания для института и еще 20 тыс. руб. на приобретение оборудования, для поддержки своего проекта летом 1910 г. Челпанов вместе со своим учеником, приват-доцентом Густавом Густавовичем Шпетом (1879—1937) побывал в лабораториях немецких университетов, а в 1911 г. предпринял поездку в США, где познако-

мился с устройством психологических лабораторий при Гарвардском, Стэнфордском и других ведущих американских университетах.

Менее чем за два года — срок немисливо короткий для наших дней — институт был построен и оборудован. Уже в апреле 1912 г. министр народного просвещения Л.А.Кассо утвердил «Временные правила о Психологическом институте при Императорском Московском университете» [9. Л.20-20об.], а с 1 сентября в институте начались регулярные занятия. По условиям договора между университетом и меценатом новому институту присваивалось имя жены С.И.Щукина, Лидии Григорьевны, в фойе должен был висеть ее портрет, а день ее рождения предстояло ежегодно торжественно отмечать. Однако, как это нередко бывает в России, получив здание и оборудование, о встречных обещаниях забыли. И только в июне 1917 г. новый министр народного просвещения профессор А.А.Мануйлов, когда-то уволенный из Московского университета министром Л.А.Кассо, разрешил присвоить Психологическому институту

официальное наименование «Психологический институт имени Лидии Григорьевны Щукиной при Московском университете» [9. Л.34-34об.].

В таком статусе институт пережил Гражданскую войну, но после нее пал под натиском новых кадров. В 1924 г. он был переименован в Государственный институт экспериментальной психологии, а все следы частной благотворительности — имя Л.Г.Щукиной на фронтоне здания, мемориальная доска с указанием жертвователя — уничтожены. Только в 1992 г. исконное название — «Психологический институт им.Л.Г.Щукиной» — было возвращено [10. С.3—16].

Не менее драматически сложились и судьбы людей, стоявших у истоков института. После Октябрьской революции 1917 г. С.И.Щукин с семьей уехал в Германию, а затем перебрался во Францию. Вместе с отцом бежал из России и Иван Щукин. В эмиграции он изменил специальность — окончил Школу восточных языков Сорбонны, защитив диссертацию на степень доктора по истории древнего искусства Персии и Индии. Вероятно, сказались отцовские ге-

ны. Еще в юношеские годы Иван сделался страстным коллекционером восточного искусства. В эмигрантском Париже 20-х годов он активно сотрудничал с японистом С.Г.Елисеевым; в последующие годы специализировался на описании восточных миниатюр, рукописных собраний, в частности Стамбульского и Каирского университетов. Будучи сотрудником Французского археологического института в Бейруте, он много лет жил в Ливане, где собрал большую коллекцию древнерусских икон. Иван Щукин трагически погиб в 1976 г. во взорванном над Бейрутом самолете.

История отечественной науки — это всегда калейдоскоп людских судеб. Бедные и богатые, гении и злодеи, страдальцы и филантропы, — все они часть единого социума, существующего в динамично изменяющемся социально-политическом и культурно-историческом ландшафте. Интенсивность внутренних связей и полей притяжения разных частей этого социума во многом определяет и его будущее, и перспективы развития отдельных его составляющих. ■

## Литература

1. *Акименко М.А.* Институт им.В.М.Бехтерева: от истоков до современности (1907—2007 гг.). СПб., 2007.
2. *Волков В.А., Куликова М.В.* Христофор Семенович Леденцов и его Общество // *Природа* 1991. №2.
3. *Борисов В.П.* Старовер и член Французской академии из династии Рябушинских // *Российская научная эмиграция. Двадцать портретов.* М., 2001.
4. *Колубовский Я.Н.* // *Исторический вестник.* 1914. №4.
5. *Абрикосов Х.Н.* Семейная хроника // *НИОР РГБ.* Ф.369. Оп.14. Д.372.
6. *Абрикосов Д.И.* Судьба русского дипломата. М., 2008.
7. *Стечкин Б.С.* Подходит крейсер — неизвестно какой. Из фотографической семейной хроники // *Природа.* 2009. №7.
8. ЦИАМ. Ф.418. Оп.318. Д.1375.
9. ЦИАМ. Ф.418. Оп.89. Д.733.
10. *Рубцов В.В.* // *Вопросы психологии.* 2004. №2.

# ПРИРОДА

популярной  
естественно-исторический журнал

Подъ редакціей  
проф. Н. К. Кольцова и проф. Л. А. Тарасевича.

Иностранным научным журналам предоставляется право перевода оригинальных статей и воспроизведение рисунков при условии точной ссылки на источник.

Русским изданиям перепечатка статей и воспроизведение рисунков, помещаемых в журнал „Природа“, могут быть разрешены лишь по особому согласию.

ОКТОБРЬ

МОСКВА

1915

## Вопрос об изменении климата в историческую эпоху

Л.С.Берг

### I

Не только среди широких слоев публики, но и между естествоиспытателями весьма распространено мнение, что южная Россия, Туркестан, Центральная Азия, побережье Средиземного моря находятся в состоянии непрерывного усыхания. Иные распространяют этот взгляд даже на весь свет. В связь с предполагаемым усыханием ставят целый ряд явлений как физических, так и исторических, именно: падеж древних культур по берегам Средиземного моря и в Передней Азии, переселение народов из глубины Центральной Азии, предполагаемое обмеление рек и усыхание озер, надвигание пустынь и песков на степи, исчезновение лесов в степях и т.д.

Между тем критический разбор высказанных по этому поводу взглядов заставляет прийти к другому выводу: за историческую эпоху нигде не замечается изменения климата в сторону прогрессивного уменьшения количества выпадающих осадков. Насколько хватает в глубь веков история, можно установить, что за все это время климат или остался постоянным, или даже замечается некоторая тенденция в сторону большей влажности<sup>1</sup>.

Древнейшими историческими сведениями мы обладаем для Вавилона и Египта. Данные, по-

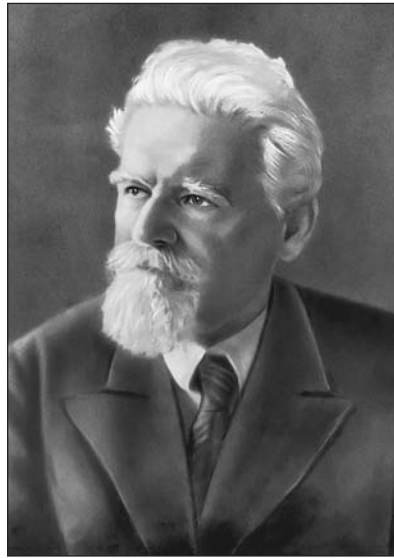
черпнутые из клинообразных надписей, показывают, что климат, растительность и система сельского хозяйства Месопотамии были в 3-м тысячелетии до Р.Х. таковы же, что и теперь. При вавилонском царе Хаммураби, жившем в XXII в. до Р.Х., в Месопотамии был вырыт большой оросительный канал, названный в его честь. В Мосуле и теперь выпадает около 300 миллиметров осадков в год — количество, при котором земледелие без искусственного орошения невозможно. Если и 4100 лет тому назад нужны были оросительные каналы, то, стало быть, и тогда осадков выпадало немногим больше.

Флиндерс Питри, известный египтолог, автор «Истории Египта», говорит, что, насколько можно проследить по литературным источникам, климат Египта не изменился в течение последних 2000 лет, а данные археологии подтверждают неизменность климата вплоть до эпохи 4-й династии, т.е. до 3998—3721 гг. до Р.Х., — следовательно, за последние 6000 лет. Швейнфурт указывает, что на мумии принцессы 22-й династии, жившей приблизительно за тысячу лет до Р.Х., был найден венчик из цветов *Picris coronopifolia*, растения, и по сей час распространенного в Египте и весьма характерного для пустынного климата.

Некоторые авторы утверждают, будто процветание наук в Александрии немыслимо было бы при

<sup>1</sup> Л.Берг в «Землеведении», 1911.

таком сухом климате, какой наблюдается там сейчас. Не говоря уже о странности этого соображения (как будто для процветания наук нужен непременно влажный климат!), следует отметить, что сухость климата Египта не только хорошо была известна древним грекам и римлянам, но они даже были склонны преувеличивать ее. Геродот, например, утверждает, что в Египте вовсе не идет дождя, а Плиний говорит, будто вследствие жары не бывает гроз, между тем у классических авторов имеются документальные данные о дождях, туманах, граде и даже снеге в Египте. Однако осадки эти, хотя и бывали в Египте, но так редко, что заслуживали специального упоминания. Геродот и Дион Кассий передают, что завоеванию Египта Камбисом и Августом



Академик Лев Семенович Берг (1876—1950).

оба раза предшествовало чудо: этим чудом был дождь. Наблюдательный Геродот рассказывает, что в Северной Африке для постройки домов употребляют глину, содержащую в себе соль, и отсюда делает заключение, что дождь там идет редко.

Из Библии известно, что 600 тысяч евреев блуждали по синайской пустыне в течение 30 лет. Ссылаясь на это, указывалось, что при нынешних климатических условиях это было бы невозможно: сейчас на Синае находит себе пропитание только 5—7 тыс. бедуинов. Между тем Флиндерс Питри рядом остроумных соображений, на которых мы не можем здесь останавливаться, доказывает, что евреев, выведенных из Египта Моисеем, было не более 5—6 тыс. человек, т.е. столько же, сколько и сейчас может прокормить Синай. Флиндерс Питри лично посетил Синай в 1905 году, шаг за шагом проследил путь евреев и приходит по интересующему нас вопросу к следующему выводу: с библейских времен климат Синай несколько не изменился в сторону сухости; если и было изменение, то скорее в сторону увеличения, а не уменьшения атмосферных осадков. Так, в Библии рассказывается, что в Элиме евреи нашли 12 пресных колодцев; между тем сейчас по уади Гарандель течет река, и нет надобности рыть колодцы. Не доходя этого места во времена Моисея были горькие источники; они есть и теперь там же.

Переходим к Греции. На недостаток воды здесь жаловались еще древние, Гомер называет Арголиду *πολυδίφος*; но замечательно, что из всех рек, которые, по описанию древних, имели постоянное течение, не высохла до настоящего времени ни одна. Страбон рассказывает, что ручьи Кефисс и Илосс, между которыми лежат Афины, летом

пересыхают. Это справедливо и до настоящего времени. В Афинах днем, с половины июля до октября, дуют северо-восточные и северные ветры; это т.н. этезии. Их направление, периодичность, изменение силы и прочие свойства остались такими же точно, какими их описывают Гезиод, Аристотель и Теофраст. Если ветры не изменились, то, следовательно, не изменились и атмосферное давление, температура и осадки; стало быть, климат был тогда таков же, что ныне. И действительно, на Кипре теперь, как и во времена Теофраста, финиковая пальма дает плоды не совсем созревающие, но все же годные в пищу. Вообще, теперь, как и 2000 лет тому назад, финики не созревают ни в южной Греции, ни в южной Испании. Исследования

Олька показали, что в древней Италии время сбора оливок и винограда, а также других культурных растений, совершенно совпадает с нынешним.

Относительно Туркестана весьма распространено такое мнение: климат здесь сухой, дождей очень мало, лето жаркое, много песков и пустынь, следовательно, — страна высыхает; высыхание это прогрессирует, и край обречен на гибель. Один из видных знатоков Туркестана еще в 1893 году писал следующее:

«Ныне страна эта представляет печальное зрелище медленного умирания. Она постепенно, хотя и медленно, усыхает, ее водные богатства сокращаются, потому что испарение гораздо более атмосферных осадков, а иссушающие ветры, пыльная атмосфера, высокая температура и летучие пески, надвигающиеся на культурные оазисы, грозят обратить в пустыню и те уже немногие культурные места, которые еще уцелели от прежних времен».

Перспективы невеселые! Над этим вопросом стоит задуматься, если принять во внимание, что в Туркестане затрачено много денег на оросительные работы, а предполагается затратить еще более. Стоит ли вообще заботиться о развитии края, который являет зрелище «медленного умирания»?

Но действительность, а также изучение исторической географии Туркестана совершенно опровергают эти страхи.

Самая постановка вопроса о прогрессивном высыхании Туркестана неправильна. На равнинах Туркестана выпадает в среднем от 100 до 300 мм осадков в год. Допустим, что все они, не просачиваясь в почву и подпочву, испаряются. Совершенно очевидно, что испарится не более того количества, какое выпало; следовательно, говорить



о прогрессивном усыхании почвы не приходится. Иначе обстоит дело с водоемами — реками и озерами: если бы они получали в год только 100—300 мм при испаряемости, измеряемой тысячами миллиметров, то они давным-давно должны были бы высохнуть. Этого, однако, нет и по той простой причине, что реки и большие озера Туркестана питаются от таяния снегов и льдов в горах Тянь-Шаня, а здесь выпадает за год в виде снега громадное количество осадков. Вот если бы нам удалось доказать прогрессивное понижение уровня озер Туркестана, иссякание рек за исторический период, тогда только мы могли бы вывести заключение об уменьшении количества осадков, выпадающих над Тянь-Шанем. О том же самом говорило бы прогрессивное отступление ледников в течение исторического периода.

Первые исследователи Туркестана, посетившие его в 60-х и 70-х годах прошлого столетия, одновременно с завоеванием края, доставили, казалось, явные доказательства усыхания: уровень почти всех озер понижался, на берегах их обнаружены, иногда на далеком расстоянии, следы прежнего распространения, впереди ледников найдены, нередко далеко от нижнего конца их, конечные морены.

Однако толкование, какое получили эти факты, оказывается ошибочным, и служить подтверждением взгляда о прогрессивном усыхании они не могут.

В самом деле, смешаны были разного рода данные. Не подлежит сомнению, что Аральское море в ледниковое время занимало большую площадь, чем ныне, и на берегах Арала, иногда на десятки верст от берега, можно встретить остатки аральских моллюсков. Но из этого вовсе не следует, что и в историческое время море это продолжало сокращаться. Далее, совершенно правильно, что в ледниковое время ледники Тянь-Шаня спускались гораздо ниже, чем теперь, но заключать отсюда, что прогрессивное отступление ледников продолжается и поныне, нет оснований.

Затем, 60-е и 70-е годы XIX столетия как раз были временем, когда озера Туркестана находились в стадии усыхания. Как известно, озера, в зависимости от колебаний в количестве атмосферных осадков, то понижают свой уровень, то повышают. Эти изменения периодичны, и период (его называют брикнеровым по имени проф. Брикнера) обнимает всего несколько десятилетий. После известного ряда лет, когда уровень понижается, наступают годы, характеризующиеся повышением уровня. И действительно, посетив в 1899 году Аральское море, я обнаружил, что уровень его сильно поднялся по сравнению с 70-ми годами. К 1903 году уровень поднялся против 1880 года на  $2\frac{3}{4}$  метра. Поездка 1903 года на Балхаш и Иссык-Куль выяснила, что первое озеро прибывает с 1890 года, а второе с 1900-го. В конце XIX ст. обнаружено прибывание и других озер Туркестана, а также

Зап. Сибири. Это время совпало с многоводием рек Туркестана, увеличением количества атмосферных осадков, опусканием нижних концов небольших ледников.

Очевидно, за периодом усыхания, бывшим в 70-х и 80-х годах, наступил в конце XIX в. и начале XX в. период обводнения. Влажная эпоха через известный промежуток времени снова сменится сухой. Мы имеем дело с периодическими колебаниями, и, судя по одним этим данным, нельзя сказать ни того, что в 80-х годах Туркестан прогрессивно усыхал, ни того, что он в конце прошлого и начале нынешнего века прогрессивно обводнялся.

Очевидно, для решения вопроса нужно иметь в своем распоряжении гораздо более длинные промежутки времени. Обратимся к историческому прошлому Туркестана. По исторической географии этой страны мы имеем целый ряд весьма ценных трудов акад. В.В.Бартольда, из которых видно, что за последние 2000 лет климат и гидрография Туркестана и Персии нисколько не изменились в сравнении с современным положением. Вот некоторые из фактов.

Геродот, описывая страну хорасмиев (т.е. Хиву) и гиркан (т.е. бассейн Гюргена, впадающего в Каспийское море), говорит: «Зимой божество ниспосылает им дождь, как и прочим народам, а летом, во время посевов проса и сезама, они терпят нужду в воде». Т.е. совершенно то же, что и теперь. Судя по описанию Квинта Курция, климат и природа Бактрианы (округ Балха) и Согдианы (округ Самарканда) во времена Александра Македонского (329 г. до Р.Х.) ничем не отличались от современного. По свидетельству Арриана, Зеравшан в IV веке до Р.Х., как и ныне, терялся в песках, не доходя до Амударьи.

Весьма точные данные арабских географов дают ясное представление о гидрографии Туркестана, какой она была 1000 лет тому назад. В IX веке р.Балхаб, как и теперь, не доходила до Амударьи. В р.Мургаб (Закаспийской области) в IX—X веках было воды не более, чем теперь, и Мерв был со всех сторон окружен пустынями; богатство же города объясняется весьма совершенной системой орошения. О том, что Маргиана (область Мерва) лежит среди песков, говорит еще Плиний. Река Теджен (Гери-руд) во времена Истахри (X в.) в мелководье не доходила до Серахса. Аральское море и 1000 лет тому назад имело приблизительно те же границы, что и теперь: арабский географ Ибн-Хаукаль, писавший около 976 года, упоминает о «Новом селении» (Джанкент) на Сырдарье ниже Казалинска; развалины этого города 940 лет тому назад были в таком же расстоянии от Аральского моря, как и ныне. Все эти примеры — а их можно было бы привести еще много, — говорят, что о быстром высыхании Туркестана, которое на глазах человечества изменило бы гидрографию страны, не может быть и речи.

Но, могут возразить, чем же, как не усыханием, можно объяснить прогрессивное распространение сыпучих песков в Туркестане. На это скажем следующее. Всюду, где наблюдается надвигание песков на культурные земли, можно с уверенностью утверждать, что это — результат деятельности человека, нарушившего естественный растительный покров песков и тем приведшего пески в движение. Особенный вред приносят пастьба скота, распашка песчаных почв и вырубка кустарников. Даже будучи искусственно обнажены от растительности, пески всюду способны к самозарощению, иногда к самооблесению, опять-таки, если человек не будет мешать этому. Мною высказано предположение, что самое образование туркестанских пустынь должно быть отнесено к эпохе с еще более сухим климатом, чем современный.

Теперь нам нужно сказать еще несколько слов относительно Европейской России. О прогрессивном иссыхании юга существует целая литература, в которой рассказывается о надвигании степей и пустынь на область лесов, об иссякании и обмелении рек, об исчезновении озер и т.д.

Что касается взаимоотношений леса и степей, то за историческое время не только нигде не наблюдалось вытеснения леса степью, но, наоборот, имеются неопровержимые свидетельства в пользу того, что лес постепенно наступает на степь. Это явление еще в 1886 г. описал Костычев для южной части Уфимской губ., где в XIX столетии на черноземе поселились лиственные леса. То же самое наблюдал Коржинский в северной части Самарской губ., Никитин в Симбирской, а Murgoci в Добрудже: известный памятник римского владычества Тгораешт Трајани оказывается теперь лежащим среди леса. Как бы ни смотреть на эти факты, все же при таком положении вещей говорить об иссыхании степей не приходится.

Вопросом о предполагаемом обмелении и иссякании рек России занимались очень много, а после голодного 1891 года была даже организована специальная экспедиция для исследования истоков рек под начальством Тилло. Данные, собранные этой экспедицией, категорически опровергают какое бы то ни было уменьшение водоносности наших рек за исторический период. В таком же смысле С.Н.Никитин высказывался и относительно Волги, и относительно Днепра. Указывают нередко, что во времена варягов по Днепру производилось судоходство и что суда доходили так высоко вверх, как теперь не могут. Оппоклов опровергает эти соображения тем, что суда варягов были «однодревки», утлые челны, выдолбленные из одного дерева; очевидно, эти «суда» могли подыматься высоко вверх. Факт же взвода их через пороги вымышлен: Константин Багрянородный, византийский писатель первой половины X века, говорит определенно, что порог «Неасит» (Ненасытец) обходят по суше, «перетягивая и перенося на плечах разгруженные челны».

Переходя к озерам, следует отметить, что озеро, особенно в северной и средней России, действительно имеют склонность исчезать, но это несколько не говорит в пользу усыхания. Как это на первый взгляд ни кажется парадоксальным, но можно установить, что озера имеют больше шансов сохраниться не во влажных, а в сухих областях. В самом деле, озеро есть элемент весьма недолговечный: судьба его быть занесенным осадками (илом, песком и проч.) и исчезнуть. Чем притоки озера несут больше механических осадков, тем озеро исчезает скорее; осадков же (продуктов эрозии) больше там, где выпадает больше дождя. Следовательно, в дождливых странах исчезновение котловин должно идти быстрее, чем в сухих областях. И действительно, мы видим, что пустыни и полупустыни переполнены котловинами, а во влажных странах озера очень быстро мелеют, зарастают растительностью, превращаются в болота и, наконец, исчезают. К юго-востоку от Петрограда, у Тосны, близ Лисина, имеются два больших моховых болота, на месте которых на шведских картах 1676 и 1685 годов обозначены два больших озера. Со времени шведского владычества климат этих мест несколько не изменился, и несмотря на это, озера превратились в болота.

Итак, результат, к какому мы пришли, следующий. Во всех рассмотренных нами областях климат за исторический период несколько не изменился за сторону большей влажности. В следующей главе мы рассмотрим, как обстоит дело с временами доисторическими.

## II

О том, каков был климат в доисторическое время, лучше всего говорят нам почвы и растительность<sup>2</sup>.

В Европейской России к югу от зоны лесов расстилается зона черноземных степей. Но между ними вклинивается переходное звено, так называемая лесостепь, где участки леса чередуются с участками степи. Так как в природе все меняется, то, очевидно, лесостепь представляет собою место борьбы леса со степью: или лес надвигается на степь, или же, наоборот, степь надвигается на лес. В первом случае были бы основания говорить об изменении климата в сторону большей влажности, во втором — в сторону большей сухости<sup>3</sup>.

Исследованиями проф. Танфильева доказано, что в доисторические времена по всей северной окраине чернозема, занятой ныне лесостепью, тянулись степи, начиная от Волынской губ. на западе и вплоть до Казанской на востоке. Как извест-

<sup>2</sup> См. об этом в моих статьях в «Земле» 1911 года, также в «Почвоведении», 1913 г., №4.

<sup>3</sup> Следует указать, что существует мнение о возможности надвигания леса на степь и при неизменном состоянии климата. Однако вся совокупность данных, часть которых приведена ниже, говорит другое.

но, чернозем образуется под степной растительностью, но отнюдь не под лесом; в лесостепной же полосе мы под лесом встречаем чернозем, лишь слегка видоизмененный («деградированный»). Это свидетельствует в пользу того, что здесь на степь некогда надвинулся лес. Произведенные за последние годы исследования почв Сибири обнаружили и здесь то же явление: в Мариинском уезде Томской губ., в Красноярском уезде Енисейской губ., в Забайкалье — всюду южная граница лесов передвинулась к югу.

В Нарымском крае Томской губ., под 59—56° с.ш., Д.А.Драницын обнаружил следующее строение почвы: под тайгой почва, как ей и полагают, подзолистая<sup>4</sup>, но на глубине около четверти метра от поверхности залегает прослойка интенсивно черного цвета, толщиной 15—25 см. Этот прослойка есть последний остаток или памятник бывшей здесь когда-то степи, покрытой черноземовидными почвами; впоследствии на степь надвинулся лес, и началось превращение степной черноземной почвы в подзолистую<sup>5</sup>.

По исследованиям С.А.Яковлева оказывается, что степи западного Предкавказья в доисторическое время подымались до высших точек перевалов через Кавказский хребет, где теперь растут леса. Возможно, что степи переходили даже на южный склон.

За последнее время собрана масса фактов из области распространения почв и форм рельефа, а также растений и животных, свидетельствующих в пользу того, что вслед за отступанием ледника в Европе господствовал сухой и теплый климат, гораздо более сухой, чем в настоящее время. Эту эпоху ботаники называют ксеротермической. Некоторые признают в послеледниковое время несколько сухих эпох, перемежавшихся с более влажными, но на этом мы останавливаться не можем. Мы будем говорить лишь о той сухой эпохе, которая непосредственно предшествовала современной.

В Швеции было время, когда лещина (*Corylus avellana*) распространялась на 500 верст севернее, чем ныне, именно до 64 3/4° с.ш.; это могло быть, если температура лета была на 2,4° теплее нынешней. Максимум температуры этой более теплой эпохи («эпоха дуба») шведские ученые относят за 8—10 тысяч лет до настоящего времени. Затем климат стал более влажным, в Швеции стала распространяться ель — это современный период. В сухую и теплую эпоху дуба на севере Европы кроме дуба и лещины был распространен гораздо далее к северу

<sup>4</sup> Подзолистыми называются такие почвы, в которых верхние горизонты более или менее выщелочены, обеднены основаниями и полуторными окислами (окись алюминия, окись железа) и обогащены кремнеземом (отчего кажутся как бы посыпанными золой); напротив, нижние горизонты подзолистой почвы обогащены полуторными окислами, окислами марганца, фосфорной кислотой и гумусом.

<sup>5</sup> Д.Драницын. Известия Докучаевского Почвенного Комитета, ИИ, 1914 г., №2.

еще водяной орех, *Trapa natans*. В северной Германии в конце эпохи дуба, соответствующей нижнему неолиту, тоже господствовал более сухой климат, когда торфяники значительно сократились и получили распространение степные растения; затем наступил более влажный климат, для которого характерным является бук — это современный период; болота снова покрылись сфагнумом. Благодаря этой причине в торфяниках северо-западной Германии можно различить два горизонта сфагнового торфа, нижний — более темный и верхний — более светлый. В промежутках между ними залегает «пограничный горизонт», свидетель более сухого климата, когда торф начал разлагаться; горизонт этот состоит из остатков вересковых кустарников и пушицы; образование его в Германии относится к эпохе дуба. Недавно В.Н.Сукачев обнаружил присутствие подобного рода пограничного горизонта и в Шуваловском торфянике, близ Петрограда<sup>6</sup>.

В этом пограничном горизонте найдены большие пни и стволы сосны, которая, судя по всему, росла почти так же хорошо, как теперь на сухих местах, ничего не имея общего с корявой и низкой сосной, ныне растущей на том же болоте. Очевидно, было время, когда болото высохло; затем снова наступило увлажнение и нарастание торфа. Сукачев приводит и другие случаи, где наблюдался пограничный горизонт, именно по р.Свири, затем в Псковской губ. и других местах.

Среди болот и лесов Полесья проф. Тутковским обнаружено множество барханов, т.е. песчаных холмов, насыпанных ветром. Эти барханы, ныне заросшие лесом, очевидно, не могли образоваться в современную эпоху; это следы того времени, когда в Полесье господствовал более сухой климат. Такие же барханы я наблюдал среди лесов Черниговской губернии, а недавно подобный бархан описан даже из окрестностей Ямбурга, Петроградской губернии, Д.И.Литвиновым<sup>7</sup>; он залегает среди обширного торфяного болота и порос сосняком. Надо думать, что образование ямбургского бархана относится к тому же сухому времени, когда высох и зарос лесом Шуваловский торфяник. В ту же эпоху я склонен относить и образование сестрорецких дюн.

Таким образом, целый ряд фактов говорит за то, что исторической эпохе предшествовало время с гораздо более сухим климатом, чем современный. Следовательно, говорить о прогрессивном изменении климата в сторону большей сухости нет никаких оснований: за историческое время, как мы видели, климат остается неизменным, а если сравнить времена доисторические, то оказывается, что современная эпоха отличается большей влажностью, чем доисторическая.

<sup>6</sup> В.Н.Сукачев. О пограничном горизонте торфяников в связи с вопросом о колебании климата в послеледниковое время. «Почвоведение», 1914 г., №1—2.

<sup>7</sup> Труды Ботанич. Музея Академии наук, XII, 1914 г.

## Послесловие от редакции

«Редкая птица долетит до середины Днепра». Редкую научную статью хочется прочесть через сто лет после ее создания, еще реже не встретишь в ней неоправданных неточностей. В статье Берга практически все верно. Отмеченная им «неизменность климата за последние 6000 лет» стала нарушаться только за последние два десятилетия.

Сегодня о климате мы знаем намного больше. Геологические исследования позволяют приблизительно восстановить его колебания почти за миллиард лет [1], бурение льдов Антарктиды дает подробную картину климата за последний миллион лет [2]. Но весь колоссальный объем информации о прошлом планеты, накопленный за прошлое столетие, к сожалению, слабо помогает предсказать изменения климата на столетие текущее. Причина этой неопределенности в том, что никогда ранее человеческая деятельность не воздействовала на климат так мощно, как за последние 100 лет.

Берг пишет: «Всюду, где наблюдается продвижение песков на культурные земли, можно с уверенностью утверждать, что это — результат деятельности человека». Прежде всего заметим, что этих «человеков» сегодня в три раза больше, чем 100 лет назад, а потребление ими природных ресурсов возросло десятикратно. Орошение пустынных земель все-таки довело до иссыхания Аральское море, которое Берг считал природно устойчивым. Но главное климатическое воздействие человека — порчу земной атмосферы — 100 лет назад предсказать было невозможно.

Климат Земли начал меняться. Споры о том, насколько быстро происходит его потепление, конечно, содержательны; в конечном счете они приведут к политическим и экономическим решениям. Но есть иное следствие, которое, возможно, опаснее самого потепления. Растущее рассогласование температурных режимов атмосферы и океана, вызванное избыточной концентрацией CO<sub>2</sub> в атмосфере, ведет к росту неустойчивости погоды [3]. Этот рост будет опережать потепление климата и отчасти его компенсировать. Уже усиливается испарение с поверхности океана, осадки приводят к невиданным ранее наводнениям. Станут возрастать частота и мощность ураганов, тайфунов, торнадо. Как долго будут нарастать погодные катастрофы, предсказать трудно, характерный масштаб времени — несколько десятилетий, может быть, все столетие.

Отсюда практические советы. Не селитесь в низинных местах: рано или поздно ваш дом затопит. Не селитесь на крутых склонах и под ними: рано или поздно произойдет обвал, в лучшем случае потоки воды размоют фундамент дома. Срубите дерево, падение которого может задеть ваше жили-



Л.С.Берг в студенческие годы.

ще: рано или поздно ураган вырвет его с корнем. А самое главное, перестаньте думать, что все эти научные рассказы вас лично не касаются.

Коснутся.

\* \* \*

Мы далеко ушли от статьи «Вопрос об изменении климата в историческую эпоху» Л.С.Берга и почти не коснулись его научного портрета. Напомним, что палитра его дарований необычайно богата. В 1998 г. он окончил Московский университет как ихтиолог, получив золотую медаль за свою дипломную работу. Еще в студенческие годы он напечатал результаты своих опытов по выкормке червей шелковицей. Последующие юношеские работы были посвящены ихтиологии, которой он увлекся под влиянием Н.Ю.Зографа. Изучал рыб Днестра близ Бендер и собранную коллекцию передал в Зоологический музей Московского университета. В период учебы он уже был признан в кругах зоологов. От преподавателей не укрылась его «абсолютная» память (прочитав страницу, он знал ее наизусть). От него ожидали многого — и он действительно неуклонно преумножал свои знания вширь и вглубь и стал всемирно известен.

Он состоял почетным членом многих отечественных и зарубежных обществ — Всесоюзного ге-

ографического общества, Общества любителей естествознания, Казанского общества естествознания, Общества естествоиспытателей в С.-Паоло, Общества ихтиологов и герпетологов в США, Польского, Болгарского и Шотландского географических обществ, Национального университета в Ла-Плата, был членом-корреспондентом Зоологического общества в Лондоне, членом Сельскохозяйственной академии им. Масарика в Праге, Американского географического общества и др. Именем Л.С.Берга назван пик высотой 6094 м в юго-западном Памире, ледник там же и в Джунгарском Алтау, вулкан на Курильских о-вах и мыс на о. Октябрьской Революции (Северная Земля).

В 1940 г. Лев Семенович был избран президентом Всесоюзного географического общества, в 1946 г. стал действительным членом Академии Наук СССР.

Научная деятельность Берга охватила многие области зоологии, географии и ряд смежных дисциплин и оказала влияние на развитие их в нашей стране и за ее пределами. Умение с предельной полнотой использовать свое время дало возможность широко и разносторонне обнаружить свои творческие силы и проделать такую колоссальную работу, которая по плечу немногим одаренным натурам.

С первых шагов в науке и до последних лет жизни Лев Семенович уделял главное внимание ихтиологии, географии, палеонтологии и зоогеографии. Более всего известен его классический труд «Рыбы пресных вод России» (1916). Эта книга выдержала четыре издания, каждый раз перерабатываемых и дополняемых. В результате Львом Семеновичем даны сводки по рыбам Европы, северной и Передней Азии, т.е. почти всей Евразии, за исключением Китая, Индокитая и Индостана. Берг охотно откликался на запросы рыбного хозяйства. Ему приходилось быть инспектором рыболовства, и он сохранял интерес к этим проблемам на протяжении всей жизни.

Уже в преклонном возрасте Берг стал заниматься изучением ископаемых рыб и начиная с 1936 г. опубликовал ряд выдающихся палеонтологических работ, посвященных главным образом семействам Palaeoniscidae и Lycoperidae. Блестящим завершением работ в области анатомии и систематики современных и ископаемых рыб стал его выдающийся труд «Система рыбообразных и рыб, ныне живущих и ископаемых» (1940).

Лев Семенович дал детально разработанную систему взглядов на историю происхождения и расселения пресноводных рыб, их зоогеографическое районирование.

Если сложить воедино все то, что сделано Бергом в различных отраслях географии — страноведении, геоморфологии, палеогеографии, лимнологии, климатологии, почвоведении, этнографии, истории географических открытий и других, то

получается, что общий вклад его в географию не менее велик, чем в ихтиологию. При этом, как и в области ихтиологии, особенно заслуживают быть отмеченными не число и объем его работ, а новые взгляды, мысли и обобщения.

Берг был также одним из выдающихся климатологов. Его «Основы климатологии» издавались не раз. В ряде других работ и статей им затрагивались самые разнообразные вопросы: от определения понятия «климат» до изменения климата в сторону потепления в исторический период и под влиянием солнечной активности в геологическом прошлом.

Много внимания уделял Берг истории географических открытий и географической науки. Из большого числа работ этого его направления упомянем лишь «Открытие Камчатки и экспедиции Беринга» (1924, 1935, 1946) и «Очерки по истории русских географических открытий» (1946, 1949).

К некоторым как бы далеким от него вопросам он испытывал особую любовь. К числу их относится теория происхождения лесса. Он не раз возвращался к нему, дополняя и подтверждая свои мысли новыми данными. Лев Семенович интересовался также вопросами геологии, написав ряд геологических статей, посвященных, в частности, происхождению уральских бокситов, железных руд типа криворожских, а также морских и пелагических осадков.

В сфере внимания находились и этнография, и проблемы, связанные с географическими названиями. Берг проявлял живейший интерес к лингвистике, о чем свидетельствует, например, его статья «О необходимости бережного отношения к русскому научному языку» (1947). Берг живо интересовался теорией эволюции, историей эволюционных идей, классификацией науки.

\* \* \*

Лев Семенович был членом редколлегии «Природы», часто печатался в нашем журнале, а после кончины ученого появился ряд публикаций о нем, в частности обстоятельная биографическая статья профессора А.Н.Световидова [4], из которой почерпнуты многие приведенные здесь сведения. Опустив ряд других публикаций, обратим внимание на дискуссию, спровоцированную выходом в свет в 1977 г. сборника, в который вошли труды Берга по теории эволюции [5].

Вступление к этой публикации стоит воспроизвести полностью — это даст читателю представление, о чем спорили ученые.

*«Чтобы сразу ввести читателя в суть дискуссии, напомним, что свою теорию эволюции Л.С.Берг назвал номогенезом (от греч. νόμος — закон); это гипотеза, согласно которой эволюция организмов осуществляется на основе внутренних закономерностей. Номогенез Л.С.Берг противопоставлял дарвинизму, кото-*

рый обозначал как “тихогенез” (от греч. *τυχη* — случай), что означает эволюцию на основе случайности. В концентрированном виде это противопоставление представлено на с.311 “Трудов по теории эволюции” Л.С.Берга. Приведем основные положения:

**Дарвин:** организмы развились из одной или немногих первичных форм;

**Берг:** из многих тысяч первичных форм.

**Дарвин:** дальнейшее развитие шло дивергентно;

**Берг:** преимущественно конвергентно.

**Дарвин:** на основе случайных вариаций отдельных особей;

**Берг:** на основе закономерностей, захватывающих массы особей.

**Дарвин:** путем медленных, небольших изменений;

**Берг:** скачками, пароксизмами, мутационно.

**Дарвин:** наследственных вариаций масса и идут они по всем направлениям;

**Берг:** наследственных вариаций ограниченное число и идут они по определенным направлениям.

**Дарвин:** борьба за существование и естественный отбор служат фактором прогресса;

**Берг:** борьба за существование и естественный отбор служат консервативным фактором, охраняющим норму.

**Дарвин:** виды в силу происхождения путем дивергенции связаны переходами друг с другом;

**Берг:** резко разграничены в силу мутационного происхождения.

**Дарвин:** эволюция состоит в образовании новых признаков;

**Берг:** в значительной степени в разворачивании задатков.

**Дарвин:** вымирание происходит от внешних причин;

**Берг:** как от внешних, так и от внутренних причин».

\* \* \*

Проблемы «нормогенеза» далеки от «вопросов изменения климата в историческую эпоху». Но таков был диапазон научных интересов Льва Семёновича Берга. Редакция полагает, что его статья, опубликованная в «Природе» в 1915 г., а также обзор и оценка его трудов в последующие десятилетия пробудят интерес к фигуре выдающегося учёного, к его идеям.

И к истории нашего журнала.

## Литература

1. Захаров В.А. Бореальный климат в мезозое // Природа. 2010. №4.
2. Бялко А.В. Палеоклимат: дополнения к теории Миланковича // Природа. 2009. №12. С.18—28.
3. Бялко А.В., Ваганова Н.И., Руманов Э.Н. О возможной климатической неустойчивости // ДАН. 2010. Т.431. №5. С.617—621.
4. Световидов А.Н. Памяти академика Л.С.Берга // Природа. 1951. №7. С.87—91.
5. По поводу теории эволюции Л.С.Берга (Мейен С.В., Урманцев Ю.А., Алексеев В.П., Скворцов А.К.) // Природа. 1979. №9. С.113—126.

# Новости науки

## Астрономия

### Гиперскоростная звезда вылетает из центра Галактики

С середины XX в. астрономам известно, что звезды в нашей Галактике и других звездных системах отличаются друг от друга по кинематике, т.е. по характеру движения. Если не слишком вдаваться в подробности, то светила Млечного Пути делятся на две большие группы — звезды гало с хаотически ориентированными и зачастую сильно вытянутыми орбитами и звезды диска, которые вращаются вокруг центра Галактики почти в одной плоскости и почти по круговым орбитам. Если все-таки заинтересоваться подробностями, то выяснится, что среди звезд Галактики попадаются экземпляры с довольно экзотическим движением. К их числу относятся так называемые гиперскоростные звезды, у которых скорость пространственного движения сопоставима и даже превышает скорость убегания для Галактики, достигая значительного порядка 1000 км/с.

Существование гиперскоростных звезд было предсказано еще в 1988 г., но обнаружить подобный объект удалось лишь семь лет спустя. Теперь известно 16 таких светил, однако их происхождение до сих пор остается под вопросом, хотя высказано предположение, что они разгоняются в результате гравитационного взаимодействия со сверхмассивной черной дырой в центре Млечного Пути. Как ни странно, возможным ключом к раскрытию тайны гиперскоростных звезд в нашей Галактике может оказаться звезда, которая, как первоначально считалось, Млечному Пути не принадлежит.

Тусклая звездочка 16-й величины HE 0437-5439 была обнаружена в 2005 г. и привлекла внимание исследователей гигантской гелиоцентрической лучевой скоростью, составлявшей 723 км/с. А это означало, что от центра Галактики она удаляется со скоростью около 560 км/с, что в два раза выше скорости убегания. Однако связь с галактическим центром в то время показалась сомнительной: звезда находилась в нескольких десятках килопарсеков от Галактики и должна была бы лететь уже как минимум 100 млн лет. Столь длительное время полета не согласовывалось со спектральным классом звезды, так как она относится к горячим В-звездам, которые живут не более 20–25 млн лет. Эта нестыковка привела к предположению, что звезда HE 0437-5439 в действительности вылетела не из Галактики, а из Большого Магелланова Облака.

Однако новые данные, полученные У.Брауном (Смитсоновская астрофизическая обсерватория, США) и его коллегами, свидетельствуют, что HE 0437-5439 все-таки имеет галактическое происхождение<sup>1</sup>. Сравнив координаты звезды на снимках, полученных с помощью космического телескопа с интервалом в 3,5 года, авторы работы определили ее собственное движение, т.е. движение перпендикулярно лучу зрения, и впервые смогли установить трехмерное направление полета звезды. Оказалось, что вектор скорости HE 0437-5439 выходит из диска нашей Галактики. Формально траектория звезды согласуется с тем, что она вылетела из центра Галактики, но для однозначного

ответа имеющейся точности все еще мало. Ее, однако, достаточно, чтобы убедительно продемонстрировать отсутствие связи между звездой и Большим Магеллановым Облаком.

Но как увязать этот результат с небольшим возрастом звезды? Авторы статьи предполагают, что молодость HE 0437-5439 кажущаяся. Сценарий ее возникновения мог бы выглядеть следующим образом. Изначально это была тройная звезда, состоявшая из тесной пары и более удаленного компонента. Во время прохождения через центр Галактики эта тройка распалась из-за гравитационного взаимодействия со сверхмассивной черной дырой, причем тесная пара звезд приобрела гигантскую скорость и вылетела из Галактики. Дальше ее эволюция шла своим чередом: более массивный компонент стал красным гигантом, поглотил звезду-спутник и тем самым «омолодился», превратившись в «голубого бродягу». Такие звезды нередко встречаются в плотных ядрах шаровых скоплений, отсюда и их название — «бродяги»; они возникают в результате слияния звездных пар, словно «забредают» в нетипичную для старых скоплений область диаграммы цвет—светимость. Но они, конечно, могут рождаться и вне шаровых скоплений, в любых тесных звездных системах.

Теперь исследователи попытаются определить траектории и других гиперскоростных звезд, поскольку их движение поможет определить распределение темного вещества на больших расстояниях от Галактики.

© Д.З.Вибе,

доктор физико-математических наук  
Москва

<sup>1</sup> Brown W. // Astrophysical Journal Letters. 2010. V.719. №1. PL23—L27.

## Планетология

**Астероидная атака на Юпитер**

Третьего июня 2010 г. на Юпитере произошло какое-то катастрофическое событие, породившее вспышку света столь яркую, что на Земле ее было видно даже в любительские телескопы. Собственно, вспышку и заметили астрономы-любители — Э.Уэсли (A.Wesley, Австралия) и К.Го (Ch.Go, Филиппины). Проще всего было предположить, что на Юпитер упал астероид или комета, и потому после сообщения Уэсли и Го наблюдатели разных обсерваторий мира направили телескопы на место падения, ожидая увидеть след от удара, который, как считалось, всегда должен возникать после такой катастрофы. Однако Юпитер словно целиком проглотил поразивший его космический снаряд.

Это было довольно неожиданно. Падение тел на Юпитер удавалось наблюдать и раньше, но удар всегда сопровождался появлением заметного следа. Например, когда в 1994 г. на Юпитер упали обломки кометы Шумейкеров—Леви-9, после каждой большой вспышки, наблюдавшейся с борта космического аппарата «Galileo» (NASA), в облачной атмосфере планеты-гиганта образовывался «синяк» — темное пятно из смеси кометной пыли и продуктов химических реакций, протекавших в горячей зоне взрыва. В июле 2009 г. тот же Уэсли снова обнаружил на Юпитере похожий след, который, по-видимому, был оставлен астероидом, упавшим на планету (сам факт падения тогда ускользнул от наблюдателей). Где же следы сейчас?

Одно из предлагаемых объяснений заключается в том, что вспышка вовсе не была связана с ударом. В принципе, на Юпитере вспышки происходят и по другим причинам. Например, с Земли во время юпитерианских гроз бывают заметны разряды молний. Однако до сих пор их видели только на ночной стороне планеты. Чтобы молния была различима и на дневной, она должна очень сильно

превосходить по мощности все молнии, наблюдавшиеся до сих пор. Пока нет никаких указаний на то, что на Юпитере возможен такой разряд. Другое объяснение — вспышка произошла в атмосфере Земли, лишь случайно наложившись на Юпитер, — опровергается одновременными ее наблюдениями с далеко разнесенных обсерваторий в Австралии и Филиппинах.

В сущности, не исключено, что отсутствие следа связано с изменениями структуры облачного покрова на Юпитере. Падение (если, конечно, это было именно падение) пришлось прямо в середину южного экваториального пояса Юпитера — одной из двух облачных полос, которая еще недавно опоясывала всю планету и была одной из наиболее заметных ее деталей. Но южный экваториальный пояс исчез из поля зрения в начале 2010 г. Предполагается, что он по-прежнему существует, но временно скрылся под какими-то высотными облаками. Не могло ли то же самое произойти и со следами падения? Однако вспышка произошла выше облаков, поэтому следы должны быть все же отчетливо видны...

Остается единственная удовлетворительная гипотеза: упавшее тело было настолько мало, что его «хватило» только на вспышку. При этом приходится признать, что Юпитер сталкивается с большим числом тел, чем ожидалось. «Мы считали, что сможем наблюдать падение астероида на Юпитер раз в столетие, и думали, что нам исключительно повезло стать свидетелями падения кометы Шумейкеров—Леви-9, — говорит Д.Йоманс (D.Yeomans), руководитель программы по наблюдениям околоземных объектов (Лаборатория реактивного движения, NASA). — И что же? За один только год Уэсли наблюдал два падения. По-видимому, пришло время исправлять наши модели столкновений, по крайней мере для небольших тел».

Это соображение, очевидно, относится не только к частоте столкновений малых тел Солнечной системы с Юпитером и другими планетами, но также и к про-

цессам, происходящим после столкновения. Наблюдения за точками падения продолжают на нескольких крупных обсерваториях, включая космический телескоп «Hubble». Имеющаяся на них аппаратура чувствительна к очень малому количеству остатков тела и к газу, которой мог быть выброшен при падении из глубоких слоев атмосферы Юпитера. Возможно, такие наблюдения прояснят, что именно произошло на планете-гиганте 3 июня 2010 г.

[http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/11jun\\_missingdebris/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/11jun_missingdebris/)

## Физика

**Углеродные нанотрубки в аккумуляторах**

Исследователи из Массачусетского технологического института (США) разработали метод добавления углеродных нанотрубок в литий-ионные аккумуляторные батареи, позволяющий этим устройствам сочетать наилучшие свойства конденсаторов и обычных литий-ионных батарей. При этом энергоемкость тоже значительно возросла.

Экспериментальные аккумуляторы, в которых в качестве положительного электрода (катода) используются несколько слоев углеродных нанотрубок, а в качестве отрицательного электрода (анода) — оксиды лития и титана, показали впечатляющую способность генерировать, подобно конденсаторам, высокий разрядный ток и в то же время запастись больше энергии, чем это сделают лучшие современные литий-ионные батареи. Причем срок службы таких батарей тоже существенно увеличивается.

Чтобы создать многослойные покрытия из углеродных нанотрубок, исследователи многократно обмакивали основу в суспензию, содержащую нанотрубки. После каждого обмакивания системе давали высохнуть, и на основе за счет капиллярных сил образовывался новый бумагоподобный слой нанотрубок. Таким способом получалось многослойное покры-



тие нужной толщины. Чтобы нанотрубки образовывали ровные слои, им поочередно придавали отрицательный и положительный заряды. Этот метод можно модифицировать, заменив обмакивание нанесением суспензии путем обрызгивания, что делает возможным массовое производство подобных батарей.

Все аккумуляторные батареи состоят из трех основных элементов: двух электродов и разделяющего их электролита. При разряде литий-ионных батарей положительно заряженные ионы лития перемещаются через электролит и откладываются на катоде. При зарядке батареи от внешнего источника эти ионы движутся в обратном направлении и поглощаются анодом. Благодаря развитой поверхности углеродных нанотрубок новые батареи могут запасать намного больший заряд, чем батареи с традиционным катодом, что впервые позволило использовать углеродные нанотрубки в качестве положительного, а не отрицательного электрода.

Удельная емкость экспериментальных батарей составляет около 0.2 кВт·ч/кг, что намного превышает показатели всех до сих пор выпускавшихся литий-ионных батарей. Кроме того, они могут обеспечивать очень большой импульсный ток, что важно для быстрого разгона электромобилей. И еще одно преимущество — весьма длительный срок службы батарей с катодом из углеродных нанотрубок: после 1000 циклов заряда-разряда исследователям не удалось обнаружить никаких признаков ухудшения их рабочих характеристик.

Nature Nanotechnology. 19 June 2010.  
doi:10.1038/nnano.2010.116

## Химия

### Углеродные нанотрубки на защите водных ресурсов

Нанотехнологии вносят вклад в решение проблемы очистки пресной воды. Приведем несколько новых примеров применения для этих целей углеродных нанотрубок.

Ученые из Южной Кореи предложили микрокапсулы для удаления из воды ионов тяжелых металлов<sup>1</sup>. Для получения капсул использован метод послойного осаждения полиэлектролитов. На меламина-формальдегидные частицы наносили чередующиеся слои полимера (гидрохлорида полиаллиламина) и нанотрубок с нужными функциями (CNT/PAH). Затем из соответствующего предшественника осаждали слой оксидов железа. Прокаливание при 500°C в течение 6 ч приводило к полному удалению меламина-формальдегидных частиц, агрегации нанотрубок и превращению смеси оксидов железа в гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). В итоге формировались микрокапсулы с маленьким сферическим ядром из нанотрубок и оболочкой из гематита (по морфологии поверхности напоминающей скорлупу грецкого ореха). По данным электронной микроскопии, в каждой капсуле находилось только одно ядро.

Средние размеры ядра и оболочки составляли 290 и 980 нм соответственно. Интересно, что путем ультразвуковой обработки капсул в кислой среде нанотрубки можно диспергировать, а путем нагрева — опять «собирать» в ядра. Способ, предложенный южнокорейскими исследователями, позволяет получать различные «орешки» — например, с золотыми ядрами и «двойной» скорлупой из нанотрубок и  $\text{SiO}_2$ .

Проверка сорбционных свойств микрокапсул (после прокаливания функции нанотрубок восстанавливались после обработки в кислоте) показала, что они прекрасно удаляют  $\text{Pb(II)}$  (46.6 мг/г) и  $\text{Cr(VI)}$  (29.16 мг/г) в течение 10 мин. Эффективность пустых капсул, а также одних нанотрубок (после растворения гематитовой оболочки) оказалась существенно ниже. Высокая удельная поверхность углеродных нанотрубок и присутствие функциональных групп, взаимодействующих с ионами тяжелых металлов, способствуют сорбции послед-

<sup>1</sup> Choi W.S. et al. // Adv. Funct. Mater. 2010. V.20. P.820.

них, а железная оболочка предохраняет нанотрубки от агрегирования, обеспечивает прочность и облегчает транспортировку. Кроме того, она делает углеродные нанотрубки безопасными для окружающей среды.

Чтобы использовать капсулы многократно, адсорбированные ионы надо каким-то образом удалять. Оказалось, что для этого нужен всего лишь раствор с низким pH. Например, при pH = 1 за 10 мин десорбируется около 60% ионов свинца. Проверка показала, что после пяти циклов сорбции-десорбции эффективность не изменилась.

Другой пример использования углеродных нанотрубок — сенсоры для обнаружения токсинов в питьевой воде. Группа китайских и американских ученых создала простые, но эффективные биосенсоры, используя одностенные углеродные нанотрубки, обычную фильтровальную бумагу и антитела<sup>2</sup>.

Метод основан на измерении удельной электропроводности. Полоски фильтровальной бумаги (5×0.5 см, толщиной 0.2 мм) несколько раз окунали в раствор, содержащий нанотрубки и антитела, а затем просушивали. При контакте с водой, загрязненной микроцистином-LR (токсином, вырабатываемым цианобактериями), удельная электропроводность композита быстро снижалась. Исследователи объясняют это тем, что антигены (микроцистин) проникают внутрь композита и, образуя комплексы с антителами, раздвигают нанотрубки, тем самым увеличивая сопротивление. Линейный диапазон детектирования 10 нМоль/мл, нелинейный — до 40 нМоль/мл. Нижний предел детектирования 0.6 нг/мл. Поскольку в соответствии с требованиями ВОЗ содержание микроцистина-LR в питьевой воде не должно превышать 1 нг/мл, новый метод пригоден для анализа качества питьевой воды. Он не уступает традиционным по чувствительности и диапазону, но требует гораздо меньше времени (не более

<sup>2</sup> Wang L. et al. // Nano Lett. 2009. №9. P.4147.

30 мин, т.е. в 28 раз меньше, чем для анализа по известному методу ELISA). Важно, что, меняя антитела, можно создавать столь же простые, недорогие, но чувствительные и быстродействующие сенсоры для детектирования многих других токсинов в пище и воде.

<http://perst.issp.ras.ru> (2009. Т.17. Вып.10).

## Генетика

### Регуляция активности «генов цветения»

Процесс развития цветка определяется экспрессией большого числа генов. Удобным модельным организмом для изучения жизнедеятельности растений служит ризомидка Таля (*Arabidopsis thaliana*), отличающаяся относительно коротким циклом развития. Функции значительной части генов (всего их примерно 25 тыс.) этого небольшого цветкового растения, распространенного в Европе, Азии и северо-западной части Африки, до сих пор неизвестны. Одним из таких генов с неясной функцией оставался до недавнего времени и ген *At5g24655* длиной 525 нуклеотидов.

Интенсивные исследования в этом направлении ведут в Институте физиологии растений им.К.А.Тимирязева РАН Ю.А.Мякушина, Э.Л.Миляева, Г.А.Романов, В.Ю.Никифорова. Сначала ими была обнаружена повышенная активность гена *At5g24655*, проявившаяся при выращивании арабидопсиса в условиях дефицита серы, в связи с чем данный ген обозначили аббревиатурой *LSU* (от англ. low sulphur). Однако блокирование экспрессии этого гена у мутантов привело к нескольким неожиданным результатам: ген оказывал влияние на сроки цветения и на формирование органов цветка. У мутантных растений появлялись дефектные цветки с неразвитыми лепестками и тычинками, но часто также и с объемным пестиком, занимающим все внутреннее пространство цветка. Однако такие нарушения были преходящи: они исчезали на поздних

стадиях цветения и наблюдались при выращивании растений на коротком, но не длинном дне.

Объяснить эту необычную феноменологию помогли методы биоинформатики. У гена *At5g24655* были обнаружены близкие родственники в геноме арабидопсиса со степенью гомологии 63—89%. Это семейство, состоящее из четырех представителей, получило название *LSU*-семейства. Скорее всего, именно родственные гены ограничивали проявление мутации *At5g24655*, поскольку растения с подавленной экспрессией двух или трех генов *LSU* показывали мутантный фенотип более резко, в том числе и в условиях длинного дня.

Арабидопсис активно используется для изучения развития цветка. В ходе наблюдений за его гомеозисными мутациями была создана модель формирования цветка АВСЕ. В соответствии с ней гены, ответственные за процесс цветения, подразделены на три группы: класс А (чашелистики и лепестки), класс В (лепестки и тычинки) и класс С (тычинки и плодолистики). Гены класса Е вместе с генами классов А, В и С участвуют в развитии лепестков, тычинок и плодолистиков. Все гены АВСЕ-модели кодируют белки, относящиеся к транскрипционным факторам.

Исходя из результатов биоинформационного анализа и данных по изменению экспрессии «канонических» генов АВСЕ-модели цветения у *lsu*-мутантов, авторы предположили, что гены *LSU*-семейства кодируют новые факторы транскрипции, которые участвуют в контроле активности известных «генов цветения».

Доклады Академии наук. 2009. Т.428. №4. С.556—559 (Россия).

## Гляциология

### Глубокое бурение льда близ вершины Эльбруса

В сентябре 2009 г. успешно завершилось глубокое керновое бурение ледника на Западном плато Эльбруса, которое проводилось

Институтом географии РАН в рамках Международного полярного года. Цель исследований, начатых еще в 2004 г., состоит в реконструкции климатических изменений на Кавказе и создании основы для построения комплексной палеоклиматической хронологии для умеренных широт Северного полушария.

Выбор места бурения скважины на Западном ледниковом плато объясняется тем, что это единственный обширный (около 0.5 км<sup>2</sup>) субгоризонтальный участок на ледниковой поверхности Эльбруса, расположенный выше 5000 м. Плато представляет собой верхнюю часть области питания ледников Большой Азау и Кюкюртлю. На западе оно обрывается вертикальными стенами и ледовыми сбросами, с востока ограничено западной вершиной Эльбруса, а с северо-запада и юго-востока — крутыми скальными гребнями. С западной стороны плато открыто для воздушных масс, несущих влагу; осадки поступают из свободной атмосферы и выпадают круглый год в виде снега.

Для лиц, не обладающих специальной подготовкой, плато труднодостижимо — именно поэтому научные исследования здесь до сих пор не проводились.

По сообщению В.Н.Михаленко из Института географии РАН (опубликованному в новом журнале этого института «Лед и снег»), для определения толщины льда использовался модифицированный видеоимпульсный радиолокатор с центральной частотой 20 МГц. Локатор состоит из передатчика, приемника, систем синхронизации, цифровой регистрации и индикации, что позволяет одновременно записывать и радарную, и навигационную информацию от GPS-приемника. За время этих работ было пройдено 6.5 км профилей на всей поверхности ледника. Измерения велись в режиме автоматической регистрации данных с интервалом 1 с, что позволило получить более 10 тыс. точек измерений вдоль намеченных профилей. В результате было установлено, что максимальная толщина

льда достигает 255.4 м в северо-восточной части плато; минимальные значения (до 45 м) отмечены на западе плато, в его краевой части, переходящей далее в ледопад; в среднем толщина льда равна 146 м.

Строение снежно-фирновой толщи и распределение температуры в скважине говорят о наличии рекристаллизационной зоны льдообразования выше 5100 м. Судя по характеру сезонной изменчивости изотопного состава снега и фирна на Западом ледниковом плато, ветровое перераспределение снега здесь не столь интенсивно, как на других участках области питания ледника Эльбруса.

Наиболее интересный результат бурения заключается в обнаружении 40-сантиметрового прослоя пирокластического материала на глубине 107.27 м. Этот прослой, имеющий в разрезе четкую верхнюю границу, может соответствовать последнему выбросу тифры одним из кратеров Эльбруса. Еще один важный результат — получение температурного профиля в глубокой скважине: от поверхности до глубины 110 м температура меняется в диапазоне от минус 19 до минус 15°C, а ниже этого уровня начинает резко повышаться с глубиной, достигая у ложа температуры минус 2°C.

Лед и снег. 2010. №1. С.123–126 (Россия).

## Палеоклиматология

### Озеро Эльгыгытгын хранит историю климата Арктики за 3.5 миллиона лет

В центральной части Чукотки известен метеоритный кратер возрастом 3.6 млн лет. Его заполняет оз.Эльгыгытгын диаметром 12 км и глубиной 170 м. Донные осадки этого озера стали в последние годы главным объектом палеоклиматических исследований, включенных, по сообщению Е.А.Гусева,

заведующего отделом геологического картирования ВНИИОкеанологии (Санкт-Петербург), в международный междисциплинарный проект.

Международная программа научного бурения континентальных отложений (ICDP) и национальные фонды разных стран выделили средства для проведения зимой 2007/08 гг. буровых работ в озере и на вечномерзлой территории его водосбора. В этих исследованиях принимали участие специалисты из университетов Лейпцига, Вены, Массачусетса; с российской стороны под руководством П.С.Минюка работали ученые Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВО РАН (г.Магадан). Полный керн осадков озера позволит получить непрерывную запись эволюции климата Арктики, начинающуюся за миллион лет до первого глобального оледенения в Северном полушарии.

Геоморфологические данные по району водосбора показали, что кратер не подвергался оледенениям в течение всего позднего кайнозоя. Керн длиной 12.9 м, поднятый в 1998 г. из самой глубокой части озера, вскрыл в своем основании осадки возрастом около 250 тыс. лет. Их состав и характер свидетельствуют об отсутствии ледниковой эрозии; они показали высокую чувствительность к климатическим изменениям достаточно хорошего разрешения по временным шкалам «Миланкович» и «суб-Миланкович». Были выявлены четыре осадочные толщи, в которых нашли отражение относительно теплый, аномально теплый, холодный и сухой, холодный и более влажный климаты.

Керн длиной 16.7 м, отобранный в 2003 г., подтвердив прежние результаты, вскрыл отложения уже возрастом почти 300 тыс. лет. Дополнительные керны, поднятые в западной части озера, показали, что грязекаменные плащи

на склоне связаны с частичной эрозией подстилающих отложений. Это ведет к образованию облаков суспензии, выпадение которой обычно происходит по всему водоему по типу «пелагического дождя» без размыва. Отсюда следует, что запись осадков в центре озера непрерывна по крайней мере за последние 300 тыс. лет, а имеющийся керн представляет на сегодня самую длинную климатическую запись из всех до сих пор полученных на арктической суше.

Сейсмические исследования дали глубинно-скоростную модель брекчированных коренных пород под слоем зювита, перекрытого двумя толщами озерных отложений мощностью до 350 м. Верхняя толща благодаря четкой слоистости выглядит ненарушенной, за исключением грязекаменных прослоев вдоль склонов. Экстраполируя скорости накопления осадков, можно полагать, что в верхней 170-метровой толще записана вся четвертичная и часть третичной истории климата, а более ранняя история, вероятно, с большими скоростями накопления осадков, представлена второй осадочной толщей. Во всей расшифрованной палеоклиматической записи нет следов ледниковой эрозии или полного пересыхания озера.

Задача дальнейшего бурения — получить непрерывную палеоклиматическую запись из наиболее глубокой части озера, а также из подстилающих импактных брекчий и коренных пород. Еще одна дополнительная скважина глубиной примерно 200 м, заложенная по соседству с озером на мерзлой территории его водосбора, дала бы возможность проверить существующие концепции развития арктической мерзлоты, а также привноса в озеро осадков с момента образования кратера.

<http://www.evgengusev.narod.ru/copern/mell-rus.html>

# Ботанический мир Поэта

Г.С.Розенберг,  
 член-корреспондент РАН, доктор биологических наук  
 С.В.Саксонов,  
 доктор биологических наук  
 С.А.Сенатор,  
 кандидат биологических наук  
 Институт экологии Волжского бассейна РАН,  
 г.Тольятти

*Природа, я в пути любовник твой  
 счастливый!*

Артюрь Рембо

**Т**рогательно-нежная или опасно-настороженная, обязательно близкая и тоскливо-знакомая (будто бы из детства, а может чьего-то прошлого) природа живет в поэзии Бориса Пастернака. Претворяясь в растительном или животном мире, описании различных местностей, она одновременно присутствует в стихах поэта и вне него. И мы, безоговорочно доверяя, можем лишь следовать за Поэтом в его мир.

Аргента Антониовна Титлянова в своей книге соединила, казалось бы, несоединимое: целостное, тревожно-изменчивое восприятие природы в поэзии Бориса Пастернака и собственный научно-популярный взгляд на природные объекты и явления, им упомянутые. Разноритмичные стихотворные строфы Поэта чередуются с размеренным ходом научных размышлений Аргенты Антониовны. И в этом не чувствуется никакого диссонанса, никакой нарочитости. Должно быть, это происходит еще и потому, что Титлянова, с ее научными званиями и степенями, заявленными на форзаце, явно любит предмет своих научных изысканий, можно сказать, поэтической любовью, в то время как образы Пастернака так бывают подробны, что в них ощущается точный в деталях научный склад ума.

Писать рецензию на такой «сплав» науки и поэзии — край-

не сложно. Сама идея такой книги должна быть оценена на «отлично», ее структура — тоже «отлично». Но выставить оценки, пересказать и откомментировать стихи Поэта — боже упаси! Искать и придираться к научным неточностям — не тот случай! И что же, в рецензии на эту блестящую работу нечего и сказать? Конечно есть. Книга Титляновой (можно смело сказать — в соавторстве с Пастернаком) предоставляет возможность по-новому взглянуть на «взаимоотношения» науки и искусства. Нет, не «поверить алгеброй гармонию», а увидеть в подлинной красе те источники вдохновения, которые одинаково необходимы и Поэту, и Естествоиспытателю.

«Экологическое чутье» и «доскональное знание растительности» Борисом Пастернаком, которыми так восхищается Титлянова, возникли не на пустом месте. В автобиографичной «Охранной грамоте» говорится, что поэт знал и любил ботанику с детства: его первой страстью «явилась ботаника», он «безвопросно рвался к Линнею». А вот как в биографии Пастернака об этом же пишет его сын (Е.Б.Пастернак. Борис Пастернак. Биография. М., 1997).

«Он тогда (1900—1902 гг. — *рецензенты*) увлекался ботаникой. Позднее он характеризовал свое увлечение пробуждением в подростке чувства прекрасного. Ботаника одушевила для него “дремучее царство растений”,



**А.А.Титлянова.** «ДРЕМУЧЕЕ ЦАРСТВО РАСТЕНИЙ» БОРИСА ПАСТЕРНАКА ГЛАЗАМИ УЧЕНОГО-ЭКОЛОГА.

М.; Новосибирск: Фолиум, 2008. 132 с.



Борис Пастернак. Рисунок Л.О.Пастернака. 1924 г.

которое, уходя корнями в землю, покрывает ее цветным ковром и вершинами опрокидывается в бездонное небо, все видящее и ко всему причастное. Этот мир то неподвижен, то изменится неуследимо быстро и дает неисчерпаемую пищу для ассоциаций и аналогий. Его временная смерть обманчива, он способен к внезапному воскресению. Это волновало Пастернака



Александр Сергеевич Барков.

всю жизнь и отражалось в его работах.

В гимназии естественную историю и географию замечательно преподавал Александр Сергеевич Барков. <...> В его изложении определение и классификация растений открывали возможность воплотить природу в слове — в описании, доступном памяти и умственному взору. Названия воскрешали увиденное, не допускали забвения, успокаивали».

Упомянутый в биографии Барков (1873—1953) — отечественный физико-географ, доктор географических наук и действительный член Академии педагогических наук РСФСР. С 1897 г. Барков почти 30 лет преподавал в гимназии и средней школе (это позже он стал профессором некоторых вузов Москвы, в том числе и Московского университета). Именно по его учебнику географии (выдержавшему 18 изданий) до войны и после нее учились дети советской страны. Но Александр Сергеевич достоин нашей памяти уже за то, что привил десятилетнему Борису любовь к растениям, растительности, природе.

Анализ ботанической таблицы — «ботанической ризницы» поэта (встречаемость тех или иных видов в его стихах), — в Приложении приведенной Титляновой, дает увлекательную возможность проследить «эффект запечатления» тех видов и ландшафтов, которые окружали Пастернака. Действительно, среди более 40 названий деревьев (представителей 37 родов), наиболее часто встречаются ива, береза, сосна, тополь, ель. Согласимся с Титляновой — это наиболее распространенный в средней полосе России пейзаж. Так же «по своему месту» растут чинара, смоковница, ливанский кедр. А вот среди кустарников и кустарничков «лидером» оказалась сирень — слишком долго «невыездной» Борис Пастернак жил в Переделкине. Можем допустить, что и местный пруд «подталкивал» Поэта

к более частому обращению к камышу, осоке (а еще есть ряска, кубышка, кувшинка). Многообразие же домашних и садовых цветов с их «экзотическими» латинизированными названиями (бегония, гелиотропы, олеандры, цинерарии, центифолии и пр.), как версия, может быть объяснено расширением нетривиального «списка рифм»:

*Пока, как запах мокрых  
центифолий,  
Не вырвется, не выразится вслух,  
Не сможет не сказаться поневоле  
Созревших лет перебродивший дух.*  
(«Весенний день  
тридцатого апреля», 1931 г.)

или

*С земли гелиотроп  
Передаст свой запах  
Рассолу флотских роб,  
Развешенных на трапах.*  
(«Как кочегар, на бак», 1936 г.)

Нарушаем. Сами же нарушаем свое требование не «поверять алгеброй гармонию». А тот факт, что столепестная махровая садовая роза (центифолия) и сама хороша, и рифму «дает» отличную, подтверждают ее упоминания Иннокентием Анненским, Игорем Северяниным, Арсением Тарковским.

Интересно и посвящение, которым открывается книга: «Посвящается светлой памяти Игоря Андреевича Полетаева, любившего и знавшего поэзию Б.Пастернака». Воздадим должное и Полетаеву (1915—1983) — отечественному математику, физику, кибернетику. Он был Эрудитом с заглавной буквы, знал несколько иностранных языков, был тонким ценителем литературы (и как мы теперь знаем — Бориса Пастернака), музыки, живописи. Он написал первую в нашей стране книгу\* по кибернетике — «Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики» (М.: Сов. радио, 1958),

\* До этого, в 1956 г., издательством «Советское радио» была выпущена книга Ф.М.Морза и Д.Е.Кимбелла «Методы исследования операций» в переводе с английского И.А.Полетаева и К.Н.Трофимова.

причем в те годы, когда наука эта была, мягко выражаясь, не «в моде», и стал инициатором широко известной дискуссии 50-60-х годов о «физиках и лириках», выступив против «самого» И.Г.Эренбурга. Техническая, военная и биологическая кибернетика, теория и моделирование больших систем (экономических, биологических и экологических) — это далеко не полный перечень направлений, в которых Полетаев получил важные и интересные результаты. Среди них особо отметим разработку фундаментальных проблем теории систем с лимитирующими факторами (*L*-систем), что стало существенным развитием работ по математической экологии итальянского математика В.Вольтерры.

Книга Титляновой очень хорошо издана, ее приятно взять в руки, в ней много замечательных фотографий (авторами видеоряда «царства растений» стали Е.А.Белоновская, Д.Н.Зверев, Н.П.Косых, С.Я.Кудряшова, С.А.Литвинская).

Завершая обсуждение (точнее, некоторые «мысли вслух по поводу...»), хотелось бы надеяться, что эта книга будет востребована не только почитателями таланта Бориса Пастернака и учеными-экологами, знакомыми

с работами Титляновой. Язык книги очень прост и доступен, он по силам и школьнику, и студенту, и любому взрослому равнодушному к природе и поэзии. А еще лучше, если ее прочтет, пускай даже случайно, как раз равнодушный ко всем этим высоким материям человек. Потому что, прочитав эту книгу, вполне возможно, он перестанет быть равнодушным. В рассказе А.П.Чехова «Ариадна» о герое (Михаиле Ивановиче Лубкове) говорится, что он «любил природу, но смотрел на нее как на нечто давно уже известное, притом по существу стоящее неизмеримо ниже его и созданное только для его удовольствия. Бывало, остановится перед каким-нибудь великолепным пейзажем и скажет: “Хорошо бы здесь чайку попить!”». Несмотря на то, что наши гастрономические предпочтения со времен Чехова претерпели заметные изменения, ход мысли о природе среднестатистического гражданина остался прежним. А потому, повторимся: хочется надеяться, что после выхода этой книги равнодушных людей станет меньше.

Очень многие люди, подобно герою «Камеры Обскура» Владимира Набокова, лишившись зрения или просто закрыв глаза, вряд ли смогут вспомнить хотя



Игорь Андреевич Полетаев.

бы одно растение, которое вот только что радовало их глаз. После запоминающихся описаний Титляновой, которые чередуются со стихами Пастернака и приведенными в книге фотографиями, вспомнить будет значительно проще.

*Поэзия! Греческой губкой*

*в присосках*

*Будь ты, и меж зелени клейкой  
Тебя б положил я на мокрую доску  
Зеленой садовой скамейки.*

(Б.Пастернак. «Весна», 1914 г.)

### Океанология

**А.С.Монин, Н.Н.Корчагин.** ДЕСЯТЬ ОТКРЫТИЙ В ФИЗИКЕ ОКЕАНА. М.: Научный мир, 2008. 172 с.

Во второй половине прошлого столетия (и особенно в последнюю его треть) произошли наиболее важные открытия в физике океана. Они связаны не только с процессами в толще океанских вод, но и с эволюцией и формированием океанского дна. Авторы книги отмечают десять таких открытий и в соответствии с этим выделяют в книге десять глав. Пер-

вая посвящена спредингу (раздвижению океанского дна под действием подлитосферных течений мантии), распаду прамерика Пангея 200 млн лет назад и формированию региональных климатов. Вторая рассказывает о субдукции — погружении в мантию тяжелых и охлажденных блоков литосферы, третья — о черных курильщиках, подземных гейзерах. В главах 4–6 собраны сведения о цунами, подводном звуковом слое (океанском слое с повышенной проводимостью звуковых волн), ступеньках — явлениях, возникающих при расслоении

океанских вод. Экваториальные глубоководные противотечения, ринги, свободные синоптические вихри, геострофическая турбулентность — темы четырех последних (7–10) глав.

Издание представляет интерес для специалистов — океанологов-физиков, для аспирантов и студентов, а также для всех, кто интересуется проблемами Мирового океана.

Когда книга версталась, умер один из ее авторов — академик РАН Андрей Сергеевич Монин. Издание завершает статья об этом выдающемся ученом, написанная его коллегами.

**Океанология**

**М.Д.Кравчишина.** ВЗВЕШЕННОЕ ВЕЩЕСТВО БЕЛОГО МОРЕА И ЕГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ. М.: Научный мир, 2009. 264 с.

Арктика оказывает огромное влияние на природную среду всей Земли. Хрупкое равновесие между физическими, химическими и экологическими параметрами, определяемое очень низкими скоростями восстановления биологических ресурсов, делают Арктику индикатором глобальных изменений, регионом, где эти изменения дают о себе знать раньше, чем в других районах планеты. Вопросы загрязнения окружающей среды Арктики тяжелыми металлами, органическим веществом, глобальное потепление волнуют миллионы людей. Очень важно для понимания процессов современного осадконакопления и влияния загрязняющих веществ на окружающую среду изучение водной взвеси и поверхностного слоя донных осадков. В морях Российской Арктики и Субарктики, к которой относится Белое море, они исследованы слабо.

В книге рассмотрен один из наименее изученных вопросов современной морской геологии — гранулометрический состав водной взвеси. Площадь поверхностных взвешенных частиц, находящихся под 1 м<sup>2</sup> океанической воды, составляет 40 тыс. м<sup>2</sup>, а с учетом коллоидной части — сотни тысяч квадратных метров. Таким образом, перенос вещества взвесью в сорбированном виде имеет большое значение. В монографии обсуждаются процессы трансформации гранулометрического состава при смешении речных и морских вод в устьевой области реки (области маргинального фильтра), взаимосвязь таких важнейших составляющих морской эко-

системы, как взвешенное вещество и бактериопланктон. Гранулометрический состав — один из основных параметров, обуславливающих динамику геохимических процессов в море.

Книга рассчитана на морских геологов, океанологов, геохимиков, биологов, географов и экологов.

**Геохимия**

**Г.Б.Наумов.** ГЕОХИМИЯ БИОСФЕРЫ: Учебное пособие для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 384 с.

В книге изложено современное состояние общей геохимии с позиций учения В.И.Вернадского о биосфере и ее переходе в стадию ноосферы. Рассматриваются положение Земли в космическом пространстве, распространенность и закономерности распределения химических элементов и их изотопов, формы их нахождения, механизмы миграции и концентрации на геохимических барьерах. Предлагаемое учебное пособие объединяет данные классической физической геохимии и материалы более поздних исследований по биогеохимии и ряда смежных научных дисциплин в единое взаимосвязанное изложение этих научных направлений. Особое внимание уделяется трем основным составляющим биосферы — косной, живой и социальной. Автор надеется, что возрождение геохимических идей Вернадского не только расширит наше понимание естественных природных процессов, идущих по независимым от нас законам Природы, но и поможет решению актуальных проблем развития цивилизации.

Книга предназначена для студентов высших учебных за-

ведений — геологов, химиков и экологов.

**Геохимия. Почвоведение**

**В.В.Добровольский.** ГЕОХИМИЯ ПОЧВ И ЛАНДШАФТОВ // Избранные труды. Т. II. М.: Научный мир, 2009. 752 с.

Имя Всеволода Всеволодовича Добровольского хорошо известно отечественным и зарубежным ученым. Он пришел в почвоведение уже сложившимся мастером в области минералого-геохимических исследований рудных месторождений, но глубоко проникся идеями генетического докучаевского учения и приложил все свои знания для дальнейшего развития и углубления фундаментальных положений почвоведения. Основываясь на выводах В.В.Докучаева о природной зональности почв и идеях В.И.Вернадского о формах нахождения химических элементов, Добровольский в 50-х годах начал систематическую и планомерную работу по геохимическому исследованию почв главных природных зон. В монографии обобщены труды автора по сравнительному изучению геохимии почв во всем диапазоне природно-географических зон, от Арктики до экватора, и геохимических проявлений вертикальной поясности почвенного покрова горных массивов. Особое внимание уделено почвенно-гипергенным новообразованиям как геохимическим индикаторам, геохимической специфике почв океанических островов и побережий, а также исследованию механизмов регулирования почвой миграционных циклов химических элементов. Книга рассчитана на специалистов в области почвоведения и геохимии ландшафтов, географов широкого профиля, экологов, геологов, а также рекомендуется студентам и аспирантам.

# Встреча с редкой книгой

А.В.Волкова,  
кандидат физико-математических наук  
г.Владимир

В свое время сотрудники Государственной библиотеки им.В.И.Ленина, ныне Российской государственной библиотеки, обратили внимание на недостаточно внимательное отношение своих коллег к фонду редкой книги. В обычной публичной библиотеке редкая книга — это фактически музейная ценность, которая нуждается в охране. К сожалению, история науки в высшей школе поставлена так, что оставляет желать лучшего, и многие специалисты, в том числе молодые библиотекари, даже не знают, что такое редкая книга. С.П.Капица и Е.П.Велихов в статье, опубликованной в журнале «Физика в школе», отметили, что в России первые учебники по физике могут научить современников. Знают ли такие книги современные педагоги? Не исчезнут ли потихоньку эти редкости? Бытует взгляд, что хороший учебник — это учебник последнего года издания. Но так ли это? Ведь у учебников М.Головина, Н.А.Любимова, П.И.Страхова, написанных просто и кратко, есть чему учиться. Об одном таком учебнике и пойдет здесь речь.

В антикварном магазине я увидела необычную рукопись, на титульном листе которой стояла подпись ее владельца (Любимов) и год (1865). В первой части книги, написанной каллиграфическим почерком, систематически излагались вопросы электричества и магнетизма по программе университета тех лет. Во второй части, написанной уже другой рукой, были университетские лекции по оптике.

Несколько лет книга лежала у меня дома. Временами я заглядывала в нее (сама читала лекции по физике), удивлялась детальным описаниям экспериментов (например, Фарадея по электромагнитной индукции). В современных учебниках описание многих опытов вообще отсутствует.

В 2004 г. во Владимире проходили очередные Столетовские чтения — девятые по счету с того года, когда впервые приняли решение проводить такие чтения раз в пять лет. К тому времени у меня созрело решение передать свою необычную рукопись в Московский государственный университет. Я стала более глубоко осознавать, что эта случайно приобретенная книга может представлять интерес не только для меня, что ее утрата станет непоправимой потерей документа той эпохи.

Лекции 1865 г. принадлежали профессору Московского университета, блестящему лектору и популяризатору науки Николаю Алексеевичу Любимову (1830—1898). Он имел хорошее для того времени образование и по обычаю тех лет свои познания совершенствовал за границей. Сначала в Париже и затем в Севре обучался у французского физика и химика, члена Парижской АН Анри Виктора Реньо, который проводил измерения плотности газов, отличающиеся высокой точностью. После школы у Реньо подобные измерения в России выполнял Любимов.

С 1854 по 1866 г. Любимов возглавлял кафедру физики в Московском университете и внес большой вклад в подготовку молодых специалистов.

По словам его современника и коллеги Н.А.Умова, он «поднял преподавание своим талантливым изложением и стремлением довести это преподавание до уровня, с которым он ознакомился в заграничной поездке». Он искренне ратовал за развитие образования в России. По предложению Любимова его ученик А.Г.Столетов после окончания университетского курса был направлен для продолжения образования за границу. После его возвращения в Россию в Московском университете шла упорная борьба за власть. Сходки студентов организовывал К.А.Тимирязев, который был близок с Столетовым и который, видимо, был заинтересован в его выдвижении. В 1866 г. Столетов стал заведующим кафедрой физики.

Любимов, уйдя с этого поста, продолжал работать над организацией образования в России. В 1876 г. он участвовал в работе комиссии под председательством И.Д.Делянова, проверявшей работу университетов. Когда комиссия нашла недостатки в их деятельности, 36 профессоров, включая Столетова, в ответ на замечания выступили с резкой критикой Любимова. Столетов писал о профессиональной неполноценности своего учителя\*.

В 1876 г. Любимов выпустил учебник «Начальная физика» в котором наряду со строгим изложением научного материала широко использовал фрагменты по истории науки. В 1882 г. его назначили членом Совета министров народного просвещения. В 1885—1886 гг. \* *Столетов А.Г. Избранные сочинения / Под ред. А.К.Тимирязева. М.; Л., 1950.*



он перевел «Рассуждения о методе Декарта», снабдив их подробными комментариями. В середине 90-х годов вышел первый отечественный учебник Любимова по истории физики, где автор уделяет большое внимание методическим проблемам (об этом говорит и подзаголовок книги: «Опыт изучения логики открытий в их истории»). Книга получила премию Митрополита Макария, а ее автор был удостоен знака отличия, соответствовавшего званию *officier de Instruction publique* Министерства народного просвещения Франции. Каждый специалист в области истории физики хорошо знает эту двухтомную «Историю физики» Любимова, если не в подлиннике, то по многочисленным ссылкам на него в литературе. Для специалистов по истории будет интересна также работа Любимова «Крушение монар-

хии во Франции», опубликованная в 1893 г.

Встает естественный вопрос: «Действительно ли Любимов был таким уж плохим физиком, как хотел бы в этом убедить общественность Столетов?» Может быть, в случае с Любимовым в оценках Столетова есть такая же тенденциозность, которую он проявил и в оценке работы князя Б.Б.Голицына? Теперь уже доказано, что докторская диссертация Голицына была значительным достижением не только отечественной, но и мировой науки.

Сейчас, когда время сгладило страсти борьбы марксистов и монархистов за власть, когда общество нашло более мудрым решение о гражданском примирении, видимо, следует посмотреть на оценку научных работ Любимова иначе, чем это делал Столетов. Сегодня можно отметить значительную роль Любимова в развитии физики в Мос-

ковском университете. Во-первых, он помог Столетову в организации физической лаборатории для практических занятий со студентами, а также для научно-исследовательской работы. Без такой лаборатории научная школа Столетова вряд ли бы состоялась. Во-вторых, Любимов оснастил физический кабинет приборами, улучшил демонстрацию опытов. В настоящее время ряд приборов Любимова хранится в музее физического факультета МГУ, а также в кабинете физической демонстрации.

Найденная мною книга может помочь в истинной оценке ее автора как ученого. Конспект лекций Любимова, изданный его учениками на стеклографе, может представлять интерес для историков и историков науки. Я передала его в библиотеку Московского университета, теперь с ним может ознакомиться каждый, кто пожелает. ■

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы

**О.О.АСТАХОВА**

**Л.П.БЕЛЯНОВА**

**М.Ю.ЗУБРЕВА**

**Г.В.КОРОТКЕВИЧ**

**К.Л.СОРОКИНА**

**Н.В.УЛЬЯНОВА**

**Н.В.УСПЕНСКАЯ**

**О.И.ШУТОВА**

**С.В.ЧУДОВ**

Литературный редактор

**Е.Е.ЖУКОВА**

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 16.08.2010  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 597  
Набрано и сверстано в редакции

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