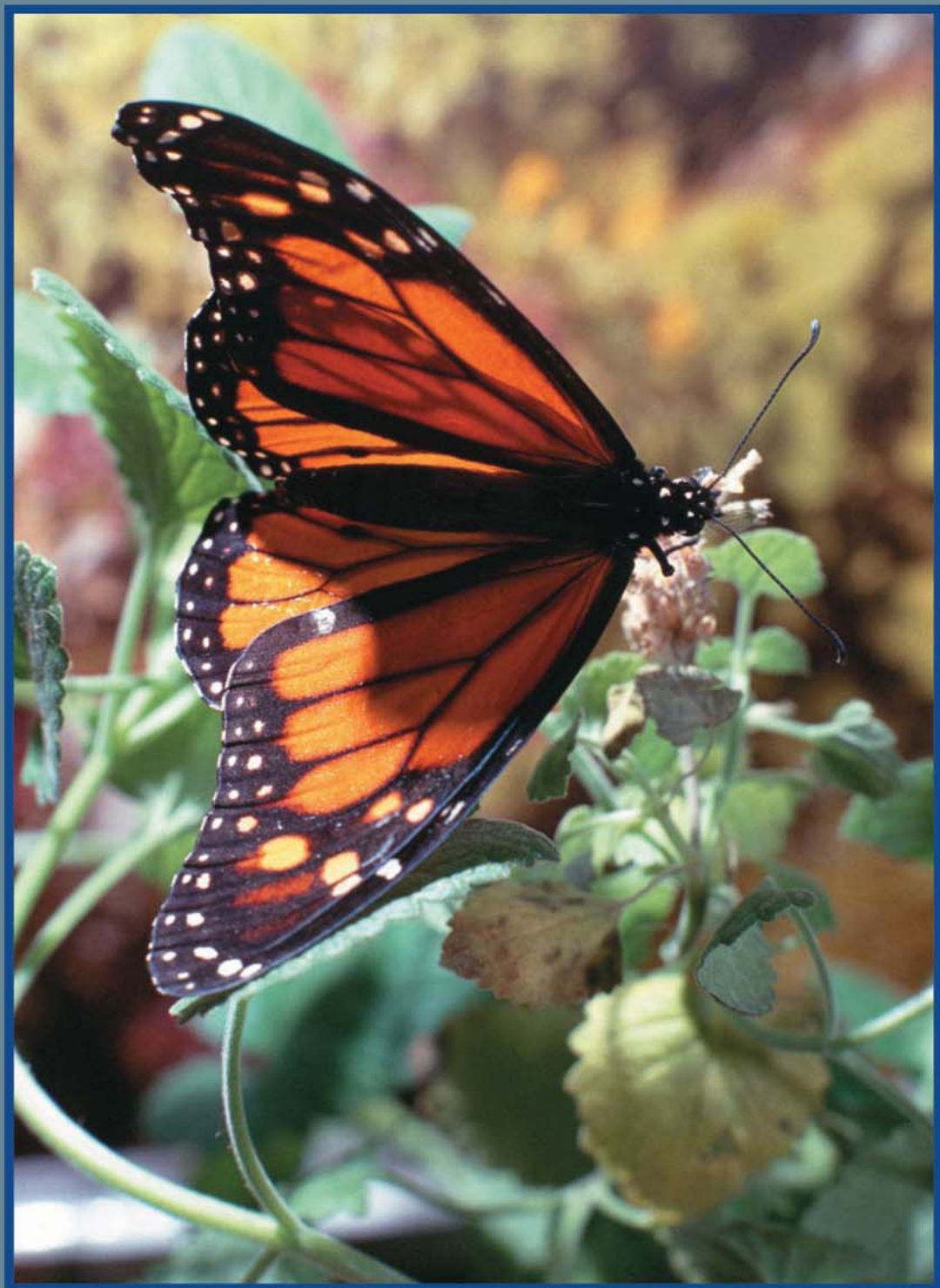


ПРИРОДА

6 03



В НОМЕРЕ:**Глобальные проблемы****3 Турчин П.В.**
Вековые волны в исторической демографии

На общем фоне роста численности населения хорошо заметны относительные всплески и спады. Изучение их динамики на примерах разных стран позволяет выявить характерные периоды демографических волн.

13 Алфимова М.В., Голимбет В.Е.
«Наша судьба — в наших генах»

Поиски связи между различными формами генов и психологическими особенностями людей, особенно страдающих душевными расстройствами, чрезвычайно важны для диагностики и прогноза таких заболеваний.

18 Угольников О.С.
Гамма-всплески и гравитационные линзы

Откуда из космоса к нам приходят таинственные вспышки гамма-излучения? По-видимому, их источники находятся на огромном, космологическом расстоянии от Земли.

25 Кароль И.Л., Киселев А.А.
Оценка ущерба «здоровью» атмосферы

Положенные в основу ограничений Монреальского и Киотского протоколов оценки реакции атмосферы на антропогенное воздействие неплохо описывают нынешнюю ситуацию, но нуждаются в коррекции, когда речь идет о будущем.

31 Никишанова Т.И.
Письмо — автобиографический путеводитель**40 Эпштейн Л.М., Шубина Е.С.**
Многоликая водородная связь**Калейдоскоп****45**
«Аллея» из вихрей над Атлантикой (45). Космонавт или робот? (45).**46 Чесноков Н.И.**
Парк Вакулла-Спрингс — вотчина аллигаторов**50 Ковалёв И.С.**
Чешуйчатый парашют**Заметки и наблюдения****53 Агафонов Б.П.**
«Ходульные» деревья у озера Байкал**57 Масс А.М.**
Не двоится ли в глазах у дельфина?**63 Никонов А.А.**
Подземные опасности в Москве

В прошлые столетия главные повреждения в Москве были связаны с ураганами и наводнениями. Сейчас на первый план выходят процессы подземные — подтопление, карст и суффозия, вызывающие обрушения зданий и провалы почвы.

70 Цыганков С.С. (отец), Цыганков С.С. (сын), Цыганков С.С. (внук)
Космический корабль «Планета Земля»

Земля представляет собой сложную конструкцию, состоящую из физических оболочек, выполняющих различные функции. Все они взаимосвязаны и взаимозависимы. Нарушение любой из них вызывает ответную реакцию всех остальных.

Редакционная почта**80**
Рецидивы шовинизма и расовой нетерпимости**Новости науки****83**
Перспективы изучения Солнечной системы (82). Орбита звезды в центре Галактики (82). Крабовидная туманность: гипотезы находят подтверждение (83). Как рождаются планеты-гиганты? (83). Сверхпроводимость лития (84). Лазерное излучение на нанопроволоке из нитрида галлия (84). Аутофагия и змеиное колесо — основа легенд? Семенов Д.В. (85). Происхождение Витватерсрандского золоторудного бассейна (85). Острова Фиджи вращаются (86). Аляска поднимается (86). На дне кратера Колима (86). Спутники помогают вулканологам (87). Тепло Европы не от Гольфстрима? (87). Древнейшее плацентарное млекопитающее (88). Какао «постарело» (88).**Рецензии****89 Гиляров А.М.**
Все о самом главном, или «Principia Tectologica»**Встречи с забытым****93 Сытин А.К.**
«Муж вещей травных в сыскании неусыпный»

CONTENTS:

Global Problems

3 **Turchin P.V.** **Secular Waves in Historical Demography**

While there is a general increase in population, its relative ups and downs are readily apparent. By studying their dynamics in various countries, it is possible to identify the characteristic periods of demographic waves.

13 **Alfimova M.V. and Golimbet V.E.** **«Our Destiny Is in Our Genes»**

The search for the relationships between various forms of genes and the psychological characteristics of persons that are particularly affected by mental illnesses is extremely important for the diagnostics and prediction of such illnesses.

18 **Ugolnikov O.S.** **Gamma-Ray Bursts and Gravitational Lenses**

Where do the enigmatic gamma-ray bursts emanate from? Apparently, their sources lie at an enormous, cosmological distance from the Earth.

25 **Karol I.L. and Kiselev A.A.** **Assessment of Damage Inflicted on the Health of the Environment**

The estimates of atmospheric response to anthropogenic impact that underpin the Montreal and Kyoto protocols fairly adequately describe the present situation, but they need to be corrected where future prospects are concerned.

31 **Nikishanova T.I.** **The Letter as an Autobiographical Guide**

40 **Epshtein L.M. and Shubina E.S.** **That Many-faced Hydrogen Bonding**

Kaleidoscope

45 _____ **An Alley of Whirls above the Atlantic (45). A Cosmonaut or a Robot? (45).**

46 **Chesnokov N.I.** **The Vakulla-Springs-Park – A Stamping Ground of Alligators**

50 **Kovalev I.S.** **A Scaly Parachute**

Notes and Observations

53 **Agafonov B.P.** **«Stilted» Trees near Lake Baikal**

57 **Mass A.M.** **Does the Dolphin See Double?**

63 **Nikonov A.A.** **Moscow's Underground Hazards**

In the past the main damage caused to Moscow came from hurricanes and floods. Now the major role is passing to underground processes such as underflooding, karst, and internal erosion, which cause collapses of buildings and cave-ins in the ground.

70 **Tsygankov S.S. (father), Tsygankov S.S. (son), and Tsygankov S.S. (grandson)** **Spaceship Planet Earth**

The Earth is a complex structure consisting of physical layers, which perform different functions. They all are interconnected and interdependent.

Mail to the Editorial Office

80 _____ **Relapses of Chauvinism and Racial Intolerance**

Science News

Prospects for Studying the Solar System (82). A Star's Orbit in the Center of the Galaxy (82). The Crab Nebula: Hypotheses Receive Confirmation (83). How Giant Planets Are Born (83). Lithium Superconductivity (84). Laser Radiation on a Gallium Nitride Nanowire (84). Autophagy and the Snake Wheel: The Basis of Legends? **Semenov D.V.** (85). Origin of the Gold-bearing Witwatersrand Basin (85). The Fiji Islands Are Rotating (86). Alaska Is Rising (86). On the Bottom of Colima Volcano (86). Satellites Helping Volcanologists (87). Europe's Warmth Is not from the Gulf Stream? (87). The Oldest Placental Mammal (88). The Cacao Has Grown Old (88).

Book Reviews

89 **Gilyarov A.M.** **About the Most Important, or Principia Tectologica**

Encounters with the Forgotten

93 **Sytin A.K.** **The Tireless Herb-Seeker**

Вековые волны в исторической демографии

П.В.Турчин

Общие подходы к популяционной динамике

Изменения численности населения на больших отрезках истории обычно представляют как неизбежное проявление экспоненциального роста. В 60-е годы казалось, что население Земли увеличивается даже быстрее, чем по экспоненте. За последнее десятилетие, однако, глобальный популяционный рост заметно замедлился (в основном из-за резкого падения рождаемости в таких густонаселенных странах, как Китай и Индия), и стало ясно, что сценарии, основанные на популяционном взрыве, несостоятельны. На самом деле в большинстве европейских стран уже наблюдается спад рождаемости населения. Это особенно заметно в странах Восточной Европы, а в Западной Европе тот же самый эффект маскируется иммиграцией из стран третьего мира.

Интересно, что в течение 90-х годов тон обсуждения популяционных проблем радикально изменился — теперь все озабочены уменьшением численности и старением населения. Кто будет работать, когда нынешнее поколение уйдет на заслуженный отдых? Некоторые недавние прогнозы так же ужасающи, как и те, которые мы слышали в 60-е и 70-е, только знак поменялся. За последний



Петр Валентинович Турчин, профессор Коннектикутского университета (США). Область научных интересов — теоретическая экология, популяционная динамика, демография и историческая социология.

год популярная пресса не раз сообщала, что к 2050 г. население России уменьшится в два-три раза.

Нет сомнения в том, что размер и возрастная структура популяции оказывают огромное влияние на благосостояние как общества, так и индивидуумов. Поэтому важно развивать методы демографического прогнозирования. К несчастью, большинство современных популяционных прогнозов, и особенно те, которые попадают в прессу, основаны на ложных предположениях. Эти прогнозы представляют собой по сути простые или слегка замаскированные экстраполяции ныне существующих тенденций. Такой подход лежит в основе модели экспоненциального роста. Более изощренная модель позволяет демографическим параметрам (рождаемость, смертность, миграция) изменяться во

времени, но и этот подход игнорирует возможные обратные связи между размером популяции и демографическими параметрами, влияющими на скорость ее изменения. Только сравнительно недавно демографы стали серьезно рассматривать модели саморегулируемого роста (density-dependent growth). Хотя Т.Р.Мальтус более 200 лет назад выдвинул идею, что высокая плотность популяции негативно влияет на рождаемость и выживание, этот механизм не учитывается общепринятыми методами демографического прогнозирования. Общая теория популяционной динамики животных и растений показывает, что действие обратных связей, регулирующих размер популяций, может проявляться с задержкой, и если запаздывание существенно, то, возможно, оно связано с таким сложным явлением, как популя-

© П.В.Турчин

ционные циклы. Периодические колебания достаточно часто встречаются в животном мире [1], но, насколько мне известно, стандартные демографические модели предполагают (в лучшем случае) быструю обратную связь, которая обычно приводит к стабилизации динамики (флуктуациям вокруг устойчивого равновесия).

Таким образом, общая теория предлагает три варианта описания динамики численности народонаселения: безудержный рост (или столь же безудержный спад); флуктуации вокруг устойчивого равновесия; колебательные изменения, обычно характеризующиеся определенным периодом (популяционные циклы). Стандартные методы прогнозирования численности народонаселения автоматически исходят из первого варианта. Насколько такой подход эмпирически обоснован? Моя цель попытаться ответить на этот вопрос с помощью данных о долгосрочной динамике как исторических, так и доисторических популяций людей. Методы для анализа этих данных я заимствую из популяционной экологии, которая за последнее десятилетие добилась очень серьезных успехов. Заранее преду-

ждаю читателя, что не предлагаю никаких конкретных прогнозов. Но надеюсь, что исторический экскурс поможет нам более скептически относиться к крайне прямолинейным демографическим экстраполяциям.

Шкалы пространственная и временная

Даже поверхностный взгляд на популяционную историю всего человечества за последние несколько тысячелетий показывает, что рост был не таким неуклонным, как это обычно рисуется (рис.1). Периоды быстрого роста сменялись промежутками медленного роста или даже убывания численности. Более того, картина, представленная на этом графике, слишком глобальна. Население в одной стране может увеличиваться, а в другой — убывать. Складывавшая численность населения стран вместе, мы теряем информацию. Значит, нужно рассматривать каждую страну в отдельности (еще лучше было бы иметь информацию о каждом регионе или провинции внутри страны, но, к несчастью, нам редко доступны такие детальные данные

до XIX в.). Эти соображения задают пространственную шкалу, адекватную нашим целям.

Нам также нужно выбрать подходящую временную шкалу. Для популяционной динамики естественный временной шаг — это поколение, или 20—30 лет. В популяционной теории предложено три фундаментальных типа колебательных движений: генерационные циклы (с периодом в одно поколение); циклы первого порядка (с периодом в два поколения); циклы второго порядка (с типичными периодами в 6—10 поколений). Генерационные циклы в возрастной структуре — достаточно обычное явление, например поколение детей, рожденных в США после второй мировой войны (baby boomers) и поколение их детей. Генерационные циклы отчетливо видны и на так называемой возрастной пирамиде, характеризующей Россию: большое количество детей, родившихся после гражданской войны (20-е годы), послевоенное поколение (50-е годы) и их дети (80-е годы). Известно, что резкое падение рождаемости в 90-е годы частично объясняется соответствующей фазой генерационного цикла.

Циклы первого порядка (два поколения, или около 50 лет) гипотетичны. Такое предположение было высказано американским экономистом Р.Истерлином [2], но эмпирическое подтверждение его выводов пока отсутствует. Согласно математическим моделям, циклы с периодом в два поколения в принципе возможны. Однако модели предсказывают, что для демографических параметров, характеризующих *Homo sapiens*, циклическая динамика вообще мало вероятна. У животных, в отличие от человека, популяционные циклы первого порядка наблюдаются.

Еще чаще в живой природе наблюдаются циклы второго порядка. Практически каждый лес имеет своего насекомого-вредителя, который подвержен

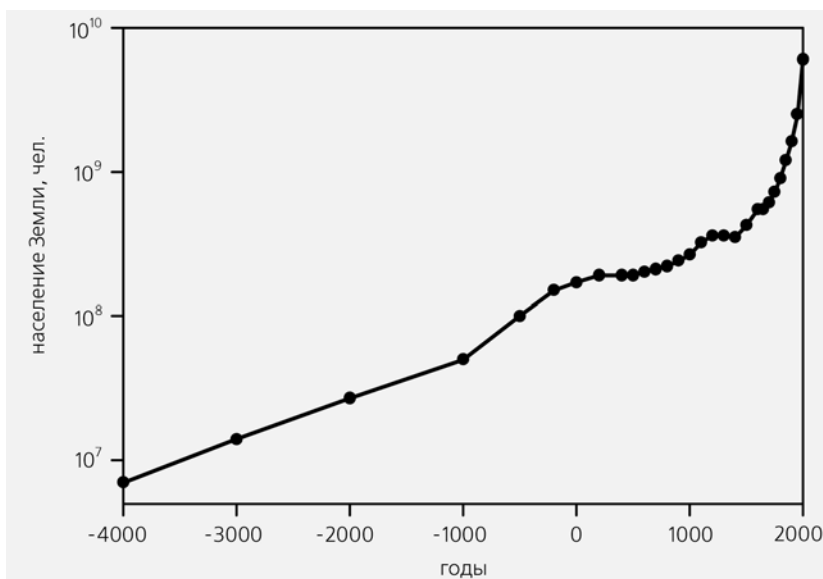


Рис. 1. Население Земли за последние шесть тысячелетий.

вспышкам размножения каждые 6–10 лет. К этой же категории относятся знаменитые циклы леммингов и других грызунов, а также десятилетние колебания численности зайцев и рысей. Наиболее распространенный механизм циклов второго порядка — межвидовое взаимодействие типа хищник—жертва.

Насколько мне известно, предположение, что популяции человека могут быть подвержены циклам второго порядка, ранее не высказывалось. Если бы такие циклы существовали, то как могли бы мы охарактеризовать их предполагаемые периоды? Учтивывая продолжительность поколений, а также то, что период обычно лежит между шестью и десятью поколениями или более, мы приходим к грубой оценке в два-три столетия. Этот количественный результат интересен как предположение, которое можно эмпирически проверять. Конечно, у меня нет намерения напрямую перенести биологические механизмы вроде модели хищник—жертва на динамику народонаселения. Однако общий динамический механизм, ведущий к колебаниям второго порядка, не зависит от конкретного наполнения (например, взаимодействия типа хищник—жертва). Циклы второго порядка возникают тогда, когда две переменные, изменяющиеся на схожей временной шкале, взаимодействуют специфическим образом. Знакомый пример из школьной физики — колебания маятника. Здесь две переменные — положение маятника и его момент (инерция). Ничто не мешает нам предположить, что если колебания второго порядка присутствуют в истории, то одна взаимодействующая переменная — количество людей, а другая — некая характеристика социума.

Итак, интересующие нас временные шкалы — это десятилетия (одно поколение, два-три десятилетия, — временной шаг) и столетия (периоды возможных циклов).

Траектории исторических популяций

В литературе по исторической демографии довольно много данных, описывающих изменения численности населения в различные периоды в самых разнообразных регионах мира. Для выявления гипотетических циклов второго порядка данные должны соответствовать следующим параметрам поиска:

1. Интервал измерения (sampling interval) должен быть не длиннее 50 лет. Желательно, конечно, чтобы размер популяции измерялся хотя бы раз в поколение или лучше каждое десятилетие. Но даже две точки в столетие дают нам минимальное представление о долгосрочной динамике народонаселения.

2. Длина ряда должна быть не менее 500 лет. В популяционной динамике базовая единица данных — это один цикл. Для того чтобы применить хотя бы самую примитивную статистику, нам нужно не менее двух циклов, т.е. два периода по 200–300 лет, или полтысячелетия. Шаг в 50 лет и длина в 500 — мини-

мальные требования, но не так много, как хотелось бы, исторических данных проходит через этот фильтр. К счастью, вопросы популяционной динамики не требуют абсолютных оценок численности (т.е., сколько всего людей было в такой-то период в тридевятом царстве). Нам достаточно знать относительную динамику (т.е. за такой-то период население выросло на 10%, а затем упало на 30% и т.д.). Это соображение особенно касается археологических данных, которые будут рассмотрены ниже.

Приступим к обзору популяционной истории Англии и Уэльса начиная с 1080 г. Здесь мы располагаем, возможно, лучшей базой (рис.2). Для последнего промежутка, 1800–2000 гг., мы берем сведения регулярной переписи населения. По периоду с 1540 до 1800 г. данные тоже весьма качественные. В это время приходские церкви вели аккуратный учет всех крещений, отпеваний и венчаний. Замечательные исследования Кембриджской группы [3], использовавшей эти церковные записи, позволили восстановить популяционную историю Англии за

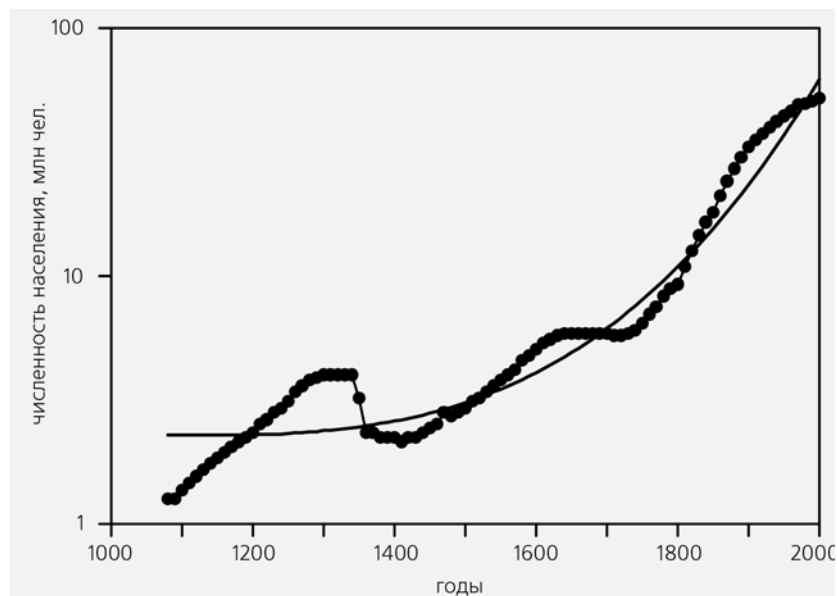


Рис.2. Население Англии и Уэльса в период 1080–2000 гг. Точки — данные статистики; кривая отражает долгосрочную тенденцию роста численности населения.

этот промежуток. Наиболее ранний период, 1080—1540 гг., представлен в работе Э.Ригли [4]. Его оценки более субъективны, тем не менее они находят крепкую опору в переписи 1080 г. (*Domesday Book*), проведенной по приказу Вильгельма Завоевателя вскоре после полного подчинения Англии норманнам. Демографическая катастрофа 1348 г. («черная смерть») неплохо охарактеризована в относительных терминах. Некоторая неопределенность касается в основном абсолютных значений пика численности, достигнутого до чумы.

Первое, что бросается в глаза на графике, — тенденция к долгосрочному повышению уровня численности. Основной причиной этой тенденции считается научно-промышленная революция XVIII в., хотя были предложены и другие объяснения (см. работы С.П.Капицы и соавторов). Нас больше интересует вторая особенность популяционной траектории, а именно колебания вокруг долгосрочной тенденции. Чтобы выявить колебательную составляющую, я сначала статистически оценил долгосрочную тенденцию (гладкая кривая на графике), а затем вычел оцененный тренд из данных о количестве населения. Период оценен примерно в 3.1 столетия.

Если мы проанализируем эти данные, пользуясь стандартным набором статистических подходов, разработанных популяционными экологами, то получим следующие результаты (описание методов анализа приведено в гл.7 моей книги [1], а детали анализа данных народонаселения — в моей книге, которая выйдет в 2003 г.). Во-первых, цикличность с периодом 3.1 века статистически достоверна ($P < 0.001$). Во-вторых, обратная связь действует с заметной задержкой, т.е. мы имеем дело, без всякого сомнения, с динамической системой второго порядка. В-третьих, динамический процесс, вызывающий изменения численности народонаселе-

ния в Англии (вокруг долгосрочной тенденции), имеет сильно выраженный детерминистический характер.

Таким образом, результаты анализа заставляют предположить, что мы имеем дело с неустойчивой динамической системой второго порядка, которая характеризуется высокой степенью детерминизма и сильно выраженной статистической периодичностью примерно в 300 лет. По всем формальным показателям данный временной ряд очень схож с популяционными циклами, наблюдаемыми у животных. Результат этот крайне интересен, но, очевидно, нуждается в дополнительной проверке. В конце концов согласно понятиям популяционной динамики, мы пока исследовали только три полных цикла.

Но вернемся к западноевропейским странам. Таких высококачественных данных, как для Англии, для других стран, насколько я знаю, не существует. Однако «Популяционный атлас» Макэвди и Джонса делает возможным качественное сравнение английской динамики с динамикой других стран региона. У этого атласа, правда, есть два недостатка. Во-первых, необходимая частота точек (не реже, чем 50 лет) достигается только после 1600 г. Так что строгий статистический анализ, который мы провели для Англии, в других случаях невозможен. Во-вторых, Макэвди и Джонс довольно консервативны в своих оценках флуктуаций численности и имеют тенденцию сглаживать колебания. Например, эти авторы утверждают, что население Англии росло в течение всего XVII в., хотя и гораздо медленнее, чем до того. Их цифры таковы: 4.25, 5.0 и 5.75 млн жителей в 1600, 1650 и 1700 гг. соответственно. А Ригли с соавторами на основании своей методики популяционной реконструкции, которая дает гораздо более точные и объективные оценки, показали, что на самом деле весь прирост населения Ан-

глии произошел в первой половине XVII в. За это время число жителей выросло с 5.05 до 5.83 млн. Однако во второй половине века население медленно убывало (что видно на графике), пока не достигло в 1710 г. локального минимума — 5.73 млн. Все же в консерватизме Макэвди и Джонса есть свой плюс. Если они где-то указывают резкое падение населения, то такая интерпретация скорее всего основана на значительной источниковедческой базе.

Рис.3 воспроизводит популяционные траектории четырех крупнейших западноевропейских стран, взятых из атласа Макэвди и Джонса. Я добавил для сравнения две небольшие страны, расположенные на противоположных краях региона. Как мы видим, все траектории показывают ту же картину, что и в Англии: долгосрочный тренд и три цикла вокруг него. Падение численности населения наблюдается во всех этих странах в XIV в., и везде, кроме Франции, в XVII в. Однако французская «аномалия» — результат упомянутого консерватизма авторов атласа. Более детальные данные показывают, что население Франции пережило два периода спада: в районе 1590-х и 1650-х годов. Вдобавок здесь мы наблюдаем пример усреднения двух противоположных тенденций. В Южной Франции период спада пришелся на 1680—1750-е годы, а Северная Франция потеряла часть населения раньше, в уже упомянутые 1590-е и 1650-е годы (это были периоды опустошительных внутренних войн — сначала религиозных, потом связанных с Фрондой). После 1700 г. Северная Франция, напротив, переживала период экономического подъема. Пример с Францией, таким образом, иллюстрирует, что близлежащие области необязательно должны колебаться синхронно.

Теперь обратимся к противоположной стороне Евразии и рассмотрим популяционную

историю Китая. Ситуация с данными о численности населения в Китае не проста. С одной стороны, центральные власти китайской империи были кровно заинтересованы в переписи населения с целью налогообложения. С другой стороны, коррумпированные или просто ленивые чиновники зачастую фальсифицировали или фабриковали данные. Эта проблема обычно усугублялась к концу династического цикла. В определенные периоды опись затрагивала только число хозяйств, а коэффициенты конверсии в общую численность неизвестны. Наконец, когда после падения очередной династии и наступления смутного времени число налогоплательщиков уменьшалось, трудно понять, было ли это следствием демографических механизмов (смертности, рождаемости, эмиграции) или неспособности государства. Поэтому оценки экспертов серьезно расходятся. Основная тема, по которой возникают разногласия, — это оценки абсолютных цифр. Что же касается относительных флуктуаций, для нас гораздо более важных, то здесь мнения сходятся гораздо ближе. Дело в том, что популяционная траектория Китая хорошо коррелируется с политической историей: во время политической стабильности население в Китае росло, а в смутные времена падало. В результате движения населения хорошо отражали так называемый китайский династический цикл (я еще вернусь к этой теме).

Наиболее детальная популяционная траектория для Китая была составлена и опубликована [5]. Временной ряд явно нестационарен и подвержен по крайней мере двум переходам на более высокий уровень численности. Так, до XI в. популяционные пики были на уровне 50 млн (рис.4, а, б). С XII по XVIII в. пики вышли на уровень 100 млн. Кстати, причина последнего перехода известна. Во-первых, до конца 1-го тысячелетия популяци-

онный центр тяжести находился в Северном Китае. При династии Сун (XI—XII вв.) южные области были колонизованы и центр тяжести сместился туда. Другими словами, область плотного заселения сильно расширилась. Во-вторых, новые технологии интенсивного возделывания риса были освоены именно при Сунских императорах. Это технологическое нововведение позволило повысить несущую емкость среды (речь идет о максимальном количестве людей, которых может прокормить, например, 1 га рисового поля).

В XVIII в. популяция Китая опять перешла в другую демографический режим, фазу быстрого роста, и достигла 400 млн в XIX в., а потом и более миллиарда в XX в. Я решил оставить этот период вне анализа и сосредоточиться на периоде с 200 г. до н.э. по 1710 г. н.э. Такой подход оставляет для анализа 192 точки (одна точка в 10 лет). Если мы разделим этот период на три равных отрезка, то получим более или менее стационарные ряды длиной 64 века каждый (рис.4). Анализ каждого отрезка в отдельности позволяет нам проверить, насколько сопоставимы результаты разных эпох.

Статистический анализ показал, что порядок динамического процесса на всех трех отрезках оценивается однозначно как второй. Однако периоды колебаний меняются со временем. Если в первом отрезке колебания имеют четкий период в 2.3 столетия, то во втором и в третьем преобладающие периоды длиннее (3.1 и 4 столетия) и на них накладываются добавочные циклы в 1.2—1.5 века. Итак, анализ китайских данных подтверждает присутствие колебаний второго порядка, однако с нерегулярным периодом (в отличие от Англии).

Демографические реконструкции других регионов мира обладают гораздо худшим качеством по сравнению с Западной Европой и Китаем и поэтому не могут послужить материалом для формального анализа. Упомяну некоторые качественные данные, разработанные Т.Уитмором с соавторами [6] для Месопотамии, Египта, Юкатана и Центральной Мексики. Интересны следующие результаты. Во-первых, эти авторы показали, что типичное состояние численности населения вовсе не медленный рост или стазис, а колебания, т.е. периоды роста (зачастую существенного), пе-

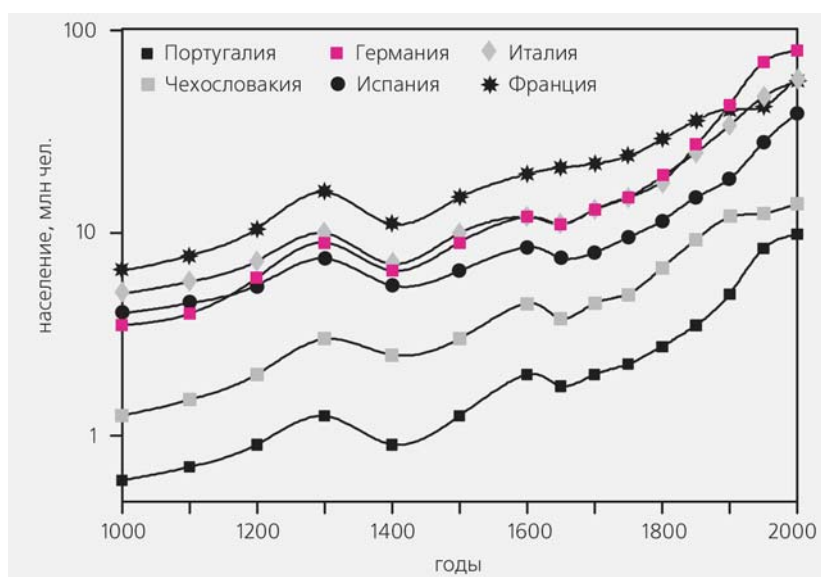


Рис.3. Население шести европейских стран (Франция, Италия, Испания, Германия, Чехословакия и Португалия) в интервале 1000 — 2000 гг.

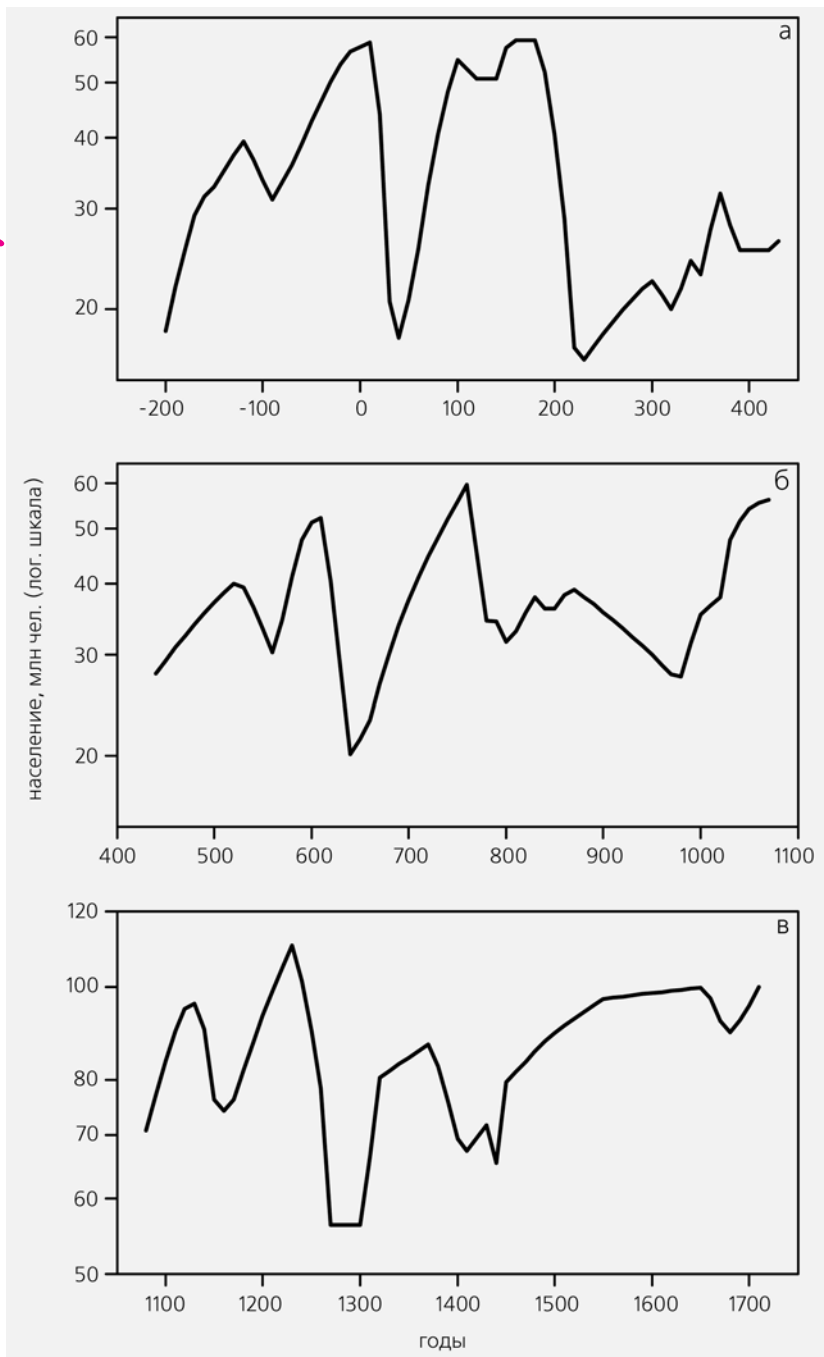


Рис. 4. Популяционная динамика Китая.

ремежающиеся периодами спада, иногда катастрофического. Во-вторых, они утверждают, что темп динамики народонаселения ускорился: если в далеком прошлом колебания (или волны, как они их называют) якобы занимали тысячелетия от спада к спаду, то характерное колеба-

ние в более близком прошлом происходило за два-три столетия. Мне кажется, что есть более простое объяснение этому «обобщению» — абберация дальности, пользуясь словами Льва Гумилева. Ранняя история, особенно когда речь идет о прошедших тысячелетиях, известна

несопоставимо хуже, чем поздняя. Так что если до нас дошли сведения только о каждом третьем или пятом спаде населения, а промежуточные затерялись в веках, то нам и покажется, что колебания в древности были длинными, а ближе к современности стали короче.

Хороший пример — историография цивилизации майя. Первые археологи, проводившие раскопки на Юкатане, даже не подозревали, что когда-то эти джунгли были густо населены. Исследователи построили романтическую картину бескрайнего тропического леса, в котором изредка попадались церемониальные центры. Вокруг обитало мирное население, практикующее экстенсивное подсечное земледелие (по определению малочисленное) и периодически собиравшееся в центрах на религиозные праздники. Последующие систематические раскопки полностью разрушили эту идиллическую картину. Оказалось, что гигантские площади были густо заселены и что древние майя практиковали очень интенсивное земледелие. Более того, расшифровка надписей показала, что древние государства Юкатана вели между собой непрерывные и кровопролитные войны. Тогда археологи предположили, что население медленно, в течение более чем тысячи лет, росло, а затем произошла демографическая и социальная катастрофа. Сравнительно недавно выяснилось, что и эта картина сильно упрощена. После того как методы датировки усовершенствовались, стало ясно, что в действительности на Юкатане (особенно на возвышенностях Гватемалы и Петэна) повторялись циклы политической централизации с последующим крахом. При этом политические циклы сопровождалась демографическими подъемами и спадами. Итак, чем дальше мы изучаем археологию майя, тем более сложной становится наша картина демографической истории региона. Кстати говоря, имею-

щие данные намекают на присутствие циклов продолжительностью в два-три века, точность этих данных пока недостаточна для формального статистического анализа.

Археологический ракурс

Археологические методы дают основание надеяться, что в недалеком будущем мы сможем разрешить многие загадки популяционной истории, да и пред истории человечества. Общий недостаток археологических оценок заключается в том, что они основаны на косвенных уликах, например на плотности построек, населенных в определенное время. Численность народа можно оценить и по количеству выращиваемых пищевых растений, пользуясь, скажем, пробами пыльцы. Проблема в том, чтобы перевести количественные оценки человеческой активности, которая оставила следы для археологов, в число людей. Например, если мы знаем, сколько было строений на квадратный километр, надо еще и представлять себе, сколько человек в среднем жило в строении. Кстати, в популяционной экологии мы тоже часто пользуемся косвенными данными. Скажем, знаменитый десятилетний цикл зайцев и рысей был выявлен путем анализа коммерческих данных Гудзоновской компании (сколько шкур было импортировано в таком-то году). Другими словами, у нас нет сведений, как на самом деле менялась численность рысей в Канаде XVIII и XIX вв.; все, что мы знаем, это как менялось количество импортированных мехов. Но поскольку главный интерес для популяционной динамики представляют относительные изменения численности, данные Гудзоновской компании предоставили богатейший материал для статистического анализа. То же можно сказать и об археологических данных. Их преимущество перед

реконструкциями, основанными на письменных источниках, — большая объективность. Конечно, эти методы все равно требуют особой тщательности и вдумчивости.

Как уже говорилось ранее, чтобы служить нашим целям, популяционные данные должны быть замерены с интервалом не реже 50 лет. Так что основная часть оценок, опубликованных в археологической литературе, пока еще не годится для анализа. Но есть несколько примеров, где частота замеров приближается к требуемой.

Обратимся к популяционной истории Древнего Рима, предмету жарких дебатов в течение многих десятилетий. Основной вопрос: какую роль сокращение популяции сыграло в распаде Римской империи? Проблема заключается в том, что первые признаки спада численности населения появляются еще в последние десятилетия Римской республики, т.е. за пять веков до падения империи. Замечательные данные, недавно опубликованные Т.Льюит [7], бросают новый свет на эту старую проблему. Льюит составила обзор всех раскопок посе-

лений римского периода в Западной Европе. Оказалось, что во второй половине III в. значительная часть поселений была заброшена (рис.5). В IV в. многие из них были опять заселены, но в течение V в. начался новый виток запустения. Колебания численности населения должны были быть еще более резкими, чем на графике, поскольку число людей в незаброшенных деревнях и виллах, скорее всего, тоже падало в III и V вв. Как и в Китае, движения населения следовали за циклами социальной нестабильности. Для Римской империи III в. — это время почти непрерывных гражданских войн и варварских вторжений. Льюит показала, что глубина падения процента заселенности в провинции хорошо коррелирует с тем, насколько эта провинция пострадала от войн. И конечно, в V в. западная Римская империя окончательно распалась.

Еще один пример данных о проценте заселенности, на этот раз в Западном полушарии, был недавно опубликован Д.Холли [8] для штата Джорджия (США) с 1000 до 1600 г. Эти данные указывают на три цикла

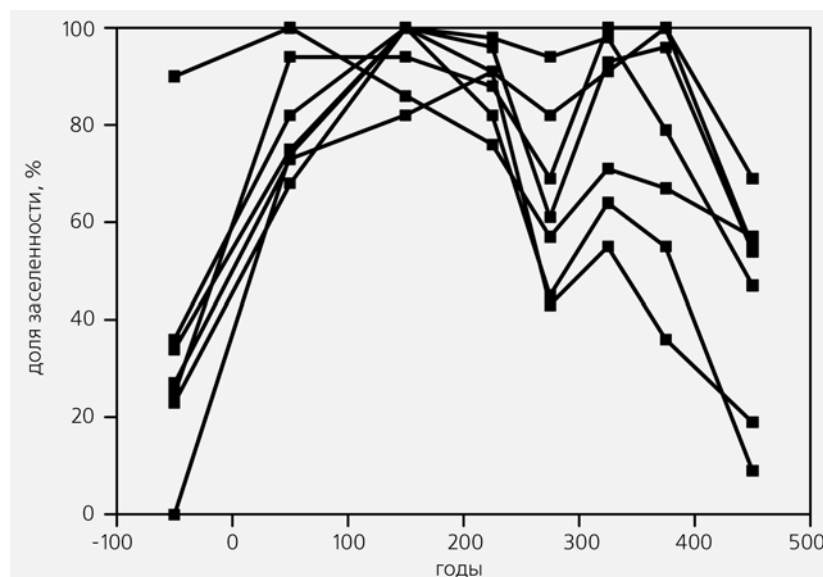


Рис.5. Активность заселения территорий (100% — максимальная заселенность) в семи западных провинциях Римской империи (сверху вниз: Британия, Бельгия, Южная и Северная Галлия, Италия, Южная и Северная Испания).

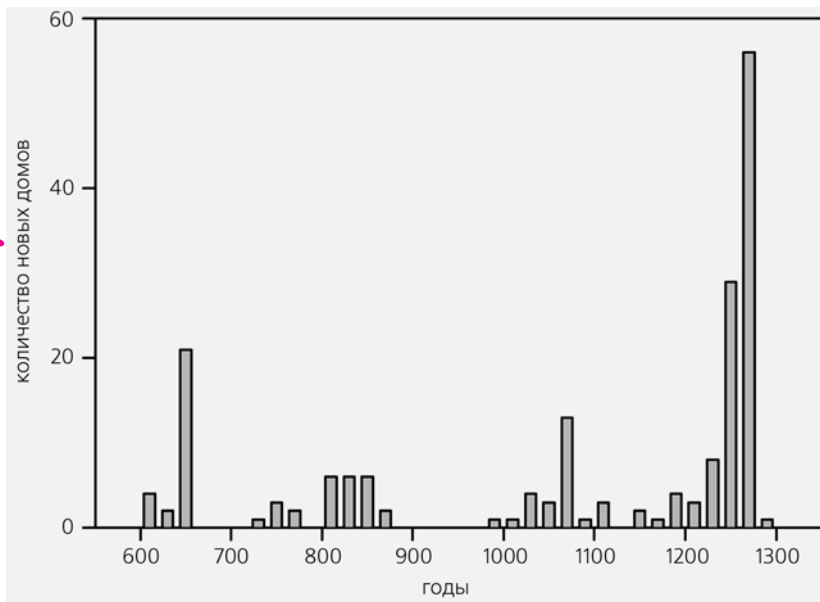


Рис. 6. Интенсивность домостроительства в районе Меза Верде (штат Колорадо).

в северо-западной части региона и два в юго-восточной.

И последний пример, самый уникальный, — это район Меза Верде (в штате Колорадо, США) [9]. Климат в этом регионе засушливый, и бревна, использованные в строительстве домов, сохраняются столетиями. С помощью дендрохронологических методов археологи определили, когда эти деревья были срублены. Распределение дат, когда бревна были заготовлены на одном плато, указывает на четыре периода интенсивного домостроительства, которые, по всей видимости, соответствуют периодам популяционного роста: в VII, IX, XI и XIII вв. (рис. 6). Двухсотлетний период статистически достоверен. Таким образом, скорее всего, в этом регионе прошло четыре колебательных движения популяции с фиксированным периодом в 200 лет.

Причины возникновения циклов

Итак, обзор данных о динамике численности народа показывает, что колебания, часто

резкие, — это скорее правило, чем исключение. Насколько эти флуктуации определяются внешними воздействиями и насколько они зависят от внутренних причин? Стандартные методы анализа временных рядов дают однозначный ответ: траектории популяций Англии и Китая являются результатом работы динамического процесса второго порядка, вызванного в основном эндогенными механизмами. Вдобавок, в некоторых рядах наблюдается сильный элемент периодичности. Конечно, пока такие выводы надо делать очень осторожно, потому что база данных недостаточна для более уверенных высказываний. К счастью, тенденция развития археологических методов такова, что в недалеком будущем эта база будет заметно расширена.

Если численность населения действительно изменяется по каким-то внутренним (эндогенным) причинам, то неплохо было бы понять, каков механизм, объясняющий эту закономерность. Другими словами, для подтверждения реальности демографических циклов необходимо внутренне логичное

и эмпирически подтвержденное объяснение. Такое объяснение — теория демографически-структурных циклов — существует. Корни теории уходят к идеям Мальтуса, Рикардо, Абеля, Постана и Броделя; а более современная формулировка может быть найдена в работах Дж.Голдстоуна, С.Нефедова, Д.Фишера и в моих. Теория сформулирована для аграрных государств, и поэтому область ее применения ограничена во времени (для Европы — до XVIII или XIX в.).

Демографически-структурная теория исходит из двух основных, динамически связанных переменных: плотности населения и социально-политической стабильности. В отличие от основополагающих идей Мальтуса и Рикардо теория не предполагает, что рост населения *напрямую* ведет к демографической катастрофе. Однако он влияет на определенные социальные структуры, которые опосредованно служат причиной демографического спада. Отсюда и название теории — демографически-структурная (demographic-structural theory), — предложенное Голдстоуном [10]. Кстати, именно потому, что популяционная обратная связь не прямая, а опосредована некой другой переменной, мы здесь имеем дело с механизмом не первого, а второго порядка (что важно, поскольку статистический анализ данных выявил все признаки действия динамического процесса второго порядка).

Рассмотрим взаимосвязи между двумя переменными, начиная с влияния популяционного роста на социополитическую стабильность. В аграрных обществах, где валовой продукт в основном сводится к производству еды, популяционный рост неизбежно ведет к уменьшению продуктивности труда. Поскольку посевные площади ограничены, рано или поздно численность населения приближается к пределу того, что земля может

прокормить. Этот процесс имеет несколько последствий.

Во-первых, он вызывает инфляцию и соответственно увеличение расходов государства. Расходы государства увеличиваются вследствие того, что рост населения ведет к расширению армии и бюрократического аппарата. Таким образом, у государства нет другого выбора, кроме увеличения налогового бремени, несмотря на сопротивление народа и элит (знати). Повышение налогов, однако, не поспевает за растущими расходами, и государство стремительно движется к банкротству.

Во-вторых, быстрый рост населения приводит к увеличению числа членов элиты, желающих поступить на государственную службу. Несмотря на то что государство пытается удовлетворить эти притязания, на всех мест не хватает. Интенсификация конкуренции внутри элиты ведет к формированию соперничающих «сетей» (networks) влияния и в конечном итоге расколу элиты на враждующие группировки.

В-третьих, рост населения влечет за собой обнищание крестьян, их миграцию в города, падающую реальную зарплату, забастовки и голодные бунты. Еще одним результатом демографического роста становится увеличение молодых когорт, которые легко мобилизуются разными революционными движениями. И наконец, внутриэлитная конкуренция и народное недовольство подливают масла в огонь идеологических конфликтов.

Все эти тенденции ведут в конечном итоге к банкротству государства и потере им контроля над армией и полицией; к попыткам разных элитных группировок захватить власть; к народным восстаниям, поначалу организованным наиболее радикализованными элементами элиты, а потом и возникающими спонтанно на фоне полного краха центральной власти.

Механизмы обратной связи смоделированы в моей работе

[11]. Вкратце это выглядит так. Социально-политическая нестабильность может повлиять либо на демографические параметры, либо на несущую емкость среды. Наиболее очевидно влияние нестабильности на рост смертности, так как в отсутствие сильного государства население будет страдать от бандитизма, внутренних войн между группировками, борющимися за власть, и внешними вторжениями. Все это ведет также к усилению миграции, особенно из районов, в которых продуктивный потенциал был подорван в результате непрерывных войн. Прямой результат миграции — уменьшение численности населения. Косвенные последствия — во-первых, сокращение рождаемости (беженцы и бродяги не имеют возможности заводить детей и заботиться о них), во-вторых — эпидемии. Толпы бродяг сами служат рассадниками заразы, перенося ее из одной местности в другую. Наконец, политическая нестабильность создает климат неуверенности в будущем и социального пессимизма. Люди женятся позже и заводят меньше детей.

Нестабильность влияет и на емкость среды. В отсутствие сильного государства население вынуждено селиться в местах, которые легче защитить от бандитов или вражеских набегов. Из-за этого только часть потенциально продуктивных земель, находящихся вблизи укрепленных поселений, может быть обработана. Далее, в стабильные периоды многие аграрные государства вкладывали средства в повышение производительности земли: расчищали леса и осушали болота, строили дороги, ирригационные каналы и дамбы от наводнений. Все эти меры увеличивали количество населения, которое могло быть прокормлено на обработанной территории, т.е. емкость среды. Конечно, увеличение емкости среды не могло проходить бесконечно — оно было ограничен-

но современным уровнем технологий.

Суммируя, можно сказать, что непосредственные причины падения численности населения — это знакомые «всадники Апокалипсиса»: голод, мор, война. В каждом конкретном случае эти причины переплетаются причудливым образом. Но *глубинная* причина — социально-политическая нестабильность, выражающаяся в структурных изменениях всего общества. Стабильность ведет к росту населения. Рост населения до уровня, на котором производительность труда падает ниже некоего минимума, ведет к политической дестабилизации. Нестабильность влечет за собой падение численности людей, что повышает их производительность труда и создает условия для установления порядка. Все эти процессы — длительные. И фаза роста численности населения, и фаза нестабильности занимают несколько поколений. Математические модели показывают, что для типичных значений параметров средний период колебаний лежит в пределах 150—300 лет.

Эмпирическая база, подтверждающая демографическую структурную теорию, уже вполне существенна. Так, детальный анализ революций в Англии, Франции, Китае и Османской империи подтвердил взаимосвязи демографических и структурных переменных, объясняющих коллапс этих государств [12]. Фишер эмпирически обосновал наличие демографически-структурных циклов в Европе последнего тысячелетия, или «великих волн», как он их называет [13]. Наконец, Нефедов продемонстрировал, что такие же циклы наблюдаются в странах востока — от Египта до Китая [14, 15].

* * *

Какие выводы мы можем сделать из обзора истории популяционных колебаний? Начну с предупреждения: основные

данные и наиболее проверенные теории относятся к аграрному периоду истории человечества. Но за последние 100—200 лет мир очень сильно изменился и продолжает меняться. Будущее вообще нельзя предсказать, а в ситуации, когда быстро эволюционирует сам динамический механизм, прогнозы вдвойне невозможны.

Но какие-то уроки из прошлого все-таки можно извлечь. Во-первых, ситуация демографического спада, в которой оказалась Европа в конце XX в., не уникальна. Три столетия назад, в кризисный XVII век, Европа пережила гораздо более серьезный спад: во время Тридцатилетней войны некоторые регионы (Богемия и большая часть Германии) потеряли более половины населения. За 300 лет до того был XIV век — век голода, чумы и «столетней вражды» (пользуясь словами Фернана Броделя).

Во-вторых, хотя мир и изменился, взаимосвязь между популяционным ростом и социально-политической стабильностью, возможно, в том или ином виде сохранилась. По крайней мере Голдстоун и Фишер применяют свои теории к современному миру и, надо сказать, с некоторым успехом.

Если мы можем распространить какой-то (еще, правда, четко не сформулированный) вариант демографически-структурной теории на современную Россию, то что мы имеем? Прогнозы, которые попросту экстраполируют демографическую ситуацию России предыдущего десятилетия на следующие 50 лет, несостоятельны. Если смертность и рождаемость так сильно менялись за предыдущие 50 лет, то почему они вдруг должны застыть в их нынешних значениях на следующие полстолетия? По крайней мере один фактор, неблагоприятная фаза генерационного цикла, уже уходит в прошлое. Но как будут колебаться продолжительность жизни и рождаемость, никому не известно; во всяком случае я не видел серьезных прогнозов для этих демографических параметров.

Не вдаваясь в детали, можно утверждать, что ситуация, которая сложилась в России к 1900 г., имела все признаки демографически-структурного кризиса. Чрезвычайно тяжелое для России 20-е столетие также очень похоже на фазу нестабильности и демографического спада. В XX в. население России уменьшалось четыре раза: во время первой мировой и гражданской войн,

из-за голода и репрессий 30-х годов, в период Великой Отечественной войны и в 90-е годы. Кроме связанного с Отечественной войной, все остальные спады были вызваны эндогенными причинами, что и согласуется с демографически-структурной теорией. Следующий период, согласно теории, должен быть фазой стабильности и популяционного роста. Быть может, эта фаза уже наступила, хотя последние два-три года относительной стабильности явно недостаточны для заключения о переломе глубинной вековой тенденции (это станет окончательно ясно только лет через пятьдесят). В любом случае теория утверждает следующее: если ситуация социально-политической стабильности установится и продолжится на следующее поколение или на два, то демографическая тенденция улучшится сама собой. Это следует понимать не как прогноз, а как научное предположение, требующее эмпирической проверки. Если стабильность наступит, а численность населения продолжит сокращаться, это будет означать, что нам придется отказаться от приложения демографически-структурной теории к постиндустриальным обществам. ■

Литература

1. *Turchin P.* Complex Population Dynamics: A Theoretical/Empirical Synthesis. Princeton; N.J., 2002.
2. *Easterlin R.* Birth and Fortune. N.Y., 1980.
3. *Wrigley E.A. et al.* England Population History from Family Reconstruction: 1580—1837. Cambridge, 1997.
4. *Wrigley E.A.* Population and History. N.Y., 1969.
5. *Chao W.-L., Hsieh S.-C.* History of Chinese Population (in Chinese). Peking, 1988.
6. *Whitmore T.M. et al.* Long-term population change, in Earth as Transformed by Human Action. 1993. P.25—9.
7. *Lewit T.* Agricultural productivity in the Roman economy AD 200—400. Oxford, 1991.
8. *Hally D.J.* Platform-mound construction and the instability of Mississippian Chiefdoms, in Political Structure and Change in the Prehistoric Southeastern United States. Gainesville, 1996.
9. *Varién M.D.* Sedentism and Mobility in a Social Landscape. Tucson, 1999.
10. *Goldstone J.A.* Revolution and Rebellion in the Early Modern World. Berkeley, 1991.
11. *Turchin P.* Historical Dynamics. Connecticut, 2003.
12. *Goldstone J.A.* // Population Studies. 1986. №40. P.5—33.
13. *Fischer D.H.* The Great Wave: Price Revolutions and the Rythm of History. N.Y., 1996.
14. *Нефедов С.А.* О демографических циклах в истории Древнего Египта. Рукопись депонирована в ИНИОН РАН 26.08.1999. №54931.
15. *Нефедов С.А.* О демографических циклах в средневековой истории Китая. Рукопись депонирована в ИНИОН РАН 26.08.1999 №54932.

«Наша судьба — в наших генах»



М.В.Алфимова, В.Е.Голимбет

Один из первооткрывателей структуры ДНК, Дж.Уотсон, сказал: «Мы привыкли думать, что наша судьба предначертана звездами. Теперь мы знаем, в существенной степени наша судьба — в наших генах». Насколько же в действительности это так? Поговорка гласит: «Судьба человека — это его характер». Попробуем ответить на вопрос, насколько гены определяют характер, точнее, психический облик человека.

Психогенетика может в цифрах и деталях рассказать о том, что Пифагор выразил когда-то просто: «Не из каждого дерева можно выточить Меркурия». Многолетние исследования показали, что различия между людьми по основным психологическим характеристикам примерно поровну определяются влиянием генов и среды. Гены отвечают за 50% всего разнообразия людей по уровню интеллекта и за 28—49% по степени выраженности пяти «универсальных» свойств личности: уверенности в себе, тревожности, дружелюбия, сознательности и интеллектуальной гибкости. Среда в психогенетике принято делить на общую и индивидуальную. Первая включает наследственные факторы, которые делают родственников из одной семьи похожими между собой и непохожими на членов



Маргарита Валентиновна Алфимова, кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клинической генетики Научного центра психического здоровья РАМН. Автор более 100 научных трудов, посвященных проблемам генетической обусловленности нормальных и патологических психологических признаков человека.



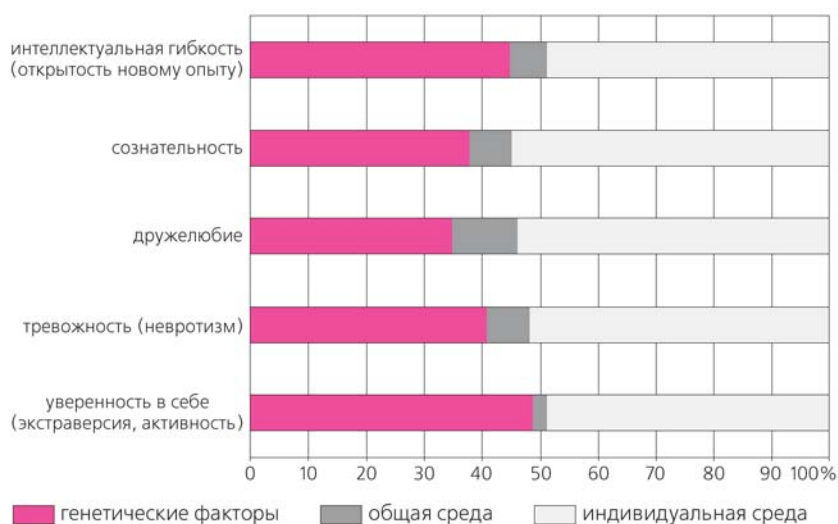
Вера Евгеньевна Голимбет, кандидат биологических наук, руководитель той же лаборатории. Круг научных интересов включает молекулярную генетику, генетику психических заболеваний, генетико-математический анализ.

других семей (способы воспитания, социальный статус и культурный уровень семьи, ее доход и пр.). К индивидуальной среде относят все ненаследственные факторы, формирующие различия между родственниками.

Вопреки, казалось бы, здравому смыслу, исследования показали, что общая среда мало влияет на интеллект и личность. По оценкам генетиков, ее участие в формировании свойств колеблется от 0 до 20%. Это объясняется уникальностью восприятия одних и тех же событий в се-

мье каждым из ее членов. Например, братья и сестры имеют только половину общих генов, и их генотипы по-разному могут проявляться в ответ на одни и те же действия родителей. Так, одинаковые наказания будут формировать у братьев и сестер разные черты и привычки. Иными словами, ребенок вовсе не чистая доска, на которой воспитатель может написать все, что ему заблагорассудится, гены оказывают не фатальное, но все же существенное влияние на то, каким вырастет человек. Это науч-

© М.В.Алфимова, В.Е.Голимбет



Влияние генетических и средовых факторов на основные характеристики личности.

но доказанный факт. Теперь человечеству нужно сделать следующий шаг — понять, какова связь между конкретными генами и конкретными психологическими чертами.

Сегодня геном человека почти прочитан, в нем содержится 30—40 тыс. генов. Создание индивидуальных «генетических паспортов» с технической точки зрения — дело недалекого будущего. Что даст подобный паспорт, помимо того что его можно использовать для идентификации личности? Уже сейчас генетическая информация весьма полезна при диагностике некоторых наследственных заболеваний и подборе лекарств. В будущем планируется ее более широкое применение, например в брачных консультациях. Вот один из мрачных футуристических сценариев. Консультант говорит жениху и невесте: «Сочетание ваших генотипов неблагоприятно. Один из вас генетически запрограммирован большую часть времени проводить за спокойными и уединенными занятиями, а другой скорее всего не сможет преодолеть природную тягу к шумным компаниям и острым ощущениям. Так что первому придется все время волноваться за супруга, а второй

бросится на поиски партнера по развлечениям. К тому же, если ваш ребенок доживет до 60—70 лет, он с большой вероятностью заболеет болезнью Альцгеймера». Что делать с этой информацией жениху и невесте?

У человечества еще есть время обсудить подобные этические и практические проблемы. Ведь чтобы о каждом гене человека можно было сказать, за синтез какой белковой молекулы он отвечает и как эта молекула работает в организме, уйдет несколько десятилетий, а чтобы узнать, как особенности этой молекулы влияют на поведение, понадобится еще больше времени. Пока о функциях генов и их влиянии на поведение и на психологические свойства человека известно мало. По мнению шведского психолога Н.Педерсен, проект «Геном человека» дал нам карту с адресами и кое-какие сведения о том, кто по ним проживает, и еще меньше понимания того, каков род занятий обитателей [1].

Между тем серьезное изучение молекулярно-генетических основ психологических признаков человека началось в 90-х годах XX в., еще до окончания расшифровки генома. Уже был открыт ряд генов, кодирующих

белки, которые играют важную роль в биохимических процессах мозга, было известно место их локализации в хромосомах, структура и количество изоформ (аллелей), встречающихся в популяции. Именно наличие разных форм — полиморфизм — составляет основу наследственных индивидуальных особенностей. Дело в том, что в популяции может существовать от одной до нескольких десятков аллелей каждого гена. Они отличаются друг от друга количеством пар оснований ДНК или их заменой. От того, какие аллели человек унаследовал от отца и матери, как они взаимодействуют между собой и с другими генами, зависит структура и, следовательно, свойства кодируемого белка, интенсивность и время запуска его синтеза в клетке. Качественные и количественные различия в синтезе белков могут по длинной цепочке событий, происходящих на разных уровнях биологической организации человека, приводить к психологическим различиям между людьми.

В первую очередь внимание специалистов, изучающих влияние наследственности на психическое здоровье и поведение человека, привлекли гены, связанные с обменом дофамина и серотонина — двух химических посредников (медиаторов), которые участвуют в передаче информации от одной нервной клетки к другой. И хотя доля нервных клеток, использующих именно эти медиаторы, в мозге невелика, функции их в регуляции поведения очень важны. Система клеток, в которой работает дофамин, связана с обеспечением подкрепления, с переживанием удовольствия. Серотониновая же система гарантирует контроль над эмоциями и импульсивными побуждениями, а также планомерное выполнение работы. Нарушения в обмене серотонина могут вести к тревожности и агрессивности. Вероятно, именно они служат важным биологическим звеном в развитии депрессии.

В 1995 г. на IV Всемирном конгрессе по психиатрической генетике в Кардиффе (Великобритания) американские и израильские ученые представили данные о связи между свойством темперамента, называемым «поиск новизны», и геном, кодирующим белок, который распознает дофамин на поверхности воспринимающей нервной клетки (рецептор дофамина четвертого типа). Разные аллели этого гена отличаются по длине, зависящей от числа повторов определенного отрезка ДНК в одном из кодирующих участков гена. Таких повторов у человека может быть от двух до десяти. В европейской популяции наиболее часто встречаются генотипы с четырьмя и семью, а в некоторых странах Азии — с четырьмя и двумя повторами.

Оказалось, что испытуемые, обладающие длинными повторами, имеют в среднем более высокие оценки по «поиску новизны», чем те, которые унаследовали от родителей короткие аллели. Это означает, что в среднем носители длинного гена любознательнее и экстравагантнее, импульсивнее и раздражительнее, более склонны нарушать правила, преграждающие им доступ к удовольствиям. В 1996 г. эти данные были опубликованы [2, 3]. Тогда же в журнале «Science» появилось сообщение К.Леша и его коллег о связи гена, кодирующего белок-переносчик серотонина, с тревожностью [4]. Были изучены два аллеля, различающиеся длиной участка, ответственного за начало считывания информации. В статье сообщалось, что у испытуемых с одним или двумя короткими генами переносчика серотонина уровень тревожности выше, чем у лиц с длинным геном.

Эти публикации были встречены с большим энтузиазмом. Но, к сожалению, в последующих попытках подтвердить описанные факты полученные результаты оказались весьма противоречивыми. Почему? Во-пер-



Схема гена транспортера серотонина, выключающего несколько полиморфных участков. Цветом выделен полиморфный участок, который изучали К.Леш с коллегами. Он находится в области промотора, обозначается «5-HTTLPR» и содержит 16 повторяющихся фрагментов (длинный вариант). Числами обозначены 14 экзонов (кодирующих участков).

вых, можно предположить, что на самом деле связей между генами и свойствами темперамента не существует, а полученные ассоциации — следствие случайного стечения обстоятельств. Такая гипотеза, однако, кажется неправдоподобной, ведь некоторым исследователям все-таки удалось подтвердить первоначальные данные. Разнообразие результатов скорее всего объясняется небольшим влиянием изученных генов на психологические признаки. Например, полиморфизм гена переносчика серотонина, по подсчетам Леша и его коллег, отвечает всего лишь за 3–4% различий между людьми по тревожности, а сам он — один из 10–15 генов, связанных с данным свойством. Кроме того, есть основания считать, что характер и степень влияния этого гена на тревожность зависят от его взаимодействия с другими генами, от пола, расы и скорее всего от других факторов. Поэтому исследователям, работающим с небольшими группами испытуемых (от 100 до 200 человек), не всегда удается выявить искомую связь. Более надежные результаты можно получить в будущем при анализе многочисленных, объединенных выборок испытуемых.

С 1996 г. количество публикуемых работ, посвященных поискам связи между различными генами и психологическими признаками, постоянно растет. Специалисты пытаются найти гены, которые влияют на психологические особенности не только у здоровых людей, но и у страдающих различными душевными

расстройствами. Такая информация важна для уточнения диагностических систем, прогноза исхода заболеваний и, конечно, для создания новых лекарств.

Подобные исследования проводятся и в России. В Научном центре психического здоровья Российской академии медицинских наук изучают молекулярно-генетическую природу психологических признаков у здоровых людей, больных шизофренией и аффективным (маниакально-депрессивным) психозом. Неблагоприятная наследственность, хотя и не предопределяет развитие этих заболеваний, существенно повышает риск их возникновения. По сравнению с человеком, среди близких родственников которого нет больных шизофренией, у ребенка, имеющего одного больного родителя, риск заболеть возрастает в 13 раз, если больны оба родителя — в 46! Специалистам пока не вполне понятен механизм передачи шизофрении и аффективного психоза по наследству. Скорее всего, проявление патологии связано не с одним, а с несколькими, возможно, многими генами. Вероятно, еще большее количество генов отвечает за различное течение болезни. Есть веские основания полагать, что гены дофаминовой и серотониновой систем играют важную роль если не в возникновении, то в проявлении психозов: отвечают за то, как и насколько под влиянием болезни изменяется человек.

Одна из целей наших исследований — изучение связи осо-



Личностные профили здоровых людей с разными вариантами гена переносчика серотонина, полученные с помощью теста ММР1. Каждая из 10 основных шкал теста отражает «близость» испытуемого к определенному психопатологическому типу (граница нормы — 45—70 баллов). У носителей двух длинных генов по сравнению с носителями двух коротких значительно выше оценки по шкалам шизофрении, психопатии и паранойи. Подъем профиля на этих шкалах указывает на усиление социальной отчужденности, индивидуализма (шизофрении), упрямства, враждебности (паранойи), импульсивности, агрессивности (психопатии). Группы различаются также по показателям коррекционных шкал, отражающих желание приукрасить свой характер (L), откровенность (F) и внимательность (K) испытуемого при ответах на вопросы теста. Высокий результат по шкале F в сочетании с низким по шкале K обычно отмечается у неконформных личностей. Наоборот, склонность следовать конвенциональным нормам обуславливает низкий результат по F и более высокий по K.

бенностей личности здоровых людей и психически больных с разными формами гена переносчика серотонина. Подтверждаются ли данные Леша для русской популяции? Результаты показали: здоровые люди, унаследовавшие от родителей две длинные формы гена, более склонны иметь обо всем собственное мнение, в среднем более эгоцентричны, менее считаются с чувствами других людей, не стремятся к сотрудничеству, их поведение порой непредсказуемо и импульсивно. Эти черты в меньшей степени выражены в группе лиц с одним коротким и одним длинным геном. Обладателей двух коротких генов можно охарактеризовать как конформистов, людей, подчиняющихся правилам, установленным обществом, не пытающихся

заявить о себе или «выкинуть» что-то особенное. На вопросы психологических тестов они отвечают, хотя и достаточно искренне, но все же так, чтобы произвести благоприятное впечатление. Эти отличия между людьми с разными генотипами наблюдаются и при аффективных расстройствах, а при шизофрении они в большой степени стираются [5].

На первый взгляд, такие данные никак не перекликаются с теми, которых придерживаются Леш и его коллеги. Но если посмотреть на полученные результаты шире, в эволюционной перспективе можно обнаружить нечто общее. По мнению Леша, короткий ген, возникший, видимо, путем утраты фрагмента ДНК около 40 млн лет назад, влияет на уровень тревожности

и тем самым участвует в адаптации человека и других приматов, живущих в сложных социальных группах. С такой гипотезой согласен японский ученый Т.Накамура [6]. Он признает наличие связи между коротким геном (у японцев он встречается в популяции до 80%, что значительно больше, чем у европейцев и афроамериканцев) и типичными для японцев эмоциональной сдержанностью и межличностной чувствительностью. Таким образом, результаты, полученные разными исследователями, указывают на важную роль гена переносчика серотонина в социальном поведении. Похоже, однако, что культурная среда и национальные традиции вносят существенные коррективы в поведение человека, генетически склонного «интегрироваться в общество».

Другой интересный и существенный факт, установленный в ходе исследований в нашем центре, — связь между различными формами гена, кодирующего рецептор серотонина типа 2A, и течением шизофрении, т.е. тем, насколько эта патология драматична для личности и образа жизни человека. В данном гене обнаружено несколько полиморфных участков. Предметом исследования стал полиморфизм, обусловленный заменой тимина на цитозин в определенной точке некодирующего участка гена. Такую форму гена считают мутантной (обозначается A2). В популяции обе формы — мутантная и «нормальная», с тимином (обозначается A1), встречаются примерно с равной частотой. Влияние этого полиморфизма на поведение, вероятно, объясняется тем, что рассматриваемый фрагмент находится рядом с функциональным участком и наследуется вместе с ним (в таких случаях генетики говорят, что участки сцеплены).

В ходе изучения полиморфизма гена серотонинового рецептора мы тестировали около 1000 человек — здоровых и психически больных. У здоровых

людей связь между геном и психологическими особенностями не найдена. Больные шизофренией с разными генотипами существенно различались между собой. В случае генотипа A2A2 (мутантные формы гена получены и от отца и от матери) значительно чаще, чем при генотипе A1A1, психические нарушения прогрессируют: больные становятся все более замкнутыми, эмоционально безразличными, безвольными. Выявился и еще один факт. Среди тех, кто болеет 15 лет и более, лиц с генотипом A2A2 оказалась значительно больше, чем среди здоровых и «молодых» больных [7]. Куда же пропали больные с генотипом A1A1?

Известно, что из поля зрения психиатров исчезает примерно половина выписанных больных с диагнозом шизофрения. Некоторые из них выздоравливают — приступы не возобновляются, а сама болезнь практически не оставляет отпечатка на личности. (Выздоровливает каждый четвертый больной шизофренией, хотя далеко не все сразу прерывают контакты с врачом.) У других больных психический дефект стабилизируется, и они могут приспособиться к болезни, наладить свой быт, не прибегая больше к помощи психиатров. Возможно, хотя это и трудно проверить, эти «растворившиеся» в обществе больные и есть обладатели генотипа A1A1, доля которых среди пациентов психиатрических клиник значительно сокращена.

Согласно полученным данным, в целом прогноз болезни для носителей генотипов A1A1

более благоприятен, чем для носителей генотипа A2A2. Возникает вопрос: зачем нам это знать? Неужели только для того, чтобы родственников одних больных успокоить, а родственников других «убить наповал» плохим прогнозом? Конечно, нет. В отдаленной перспективе эти знания могут раскрыть биологические механизмы болезни, а в более близкой — использоваться для более своевременного и «правильного» лечения, соответствующего биологическим особенностям индивида.

«В большой мудрости — большая печаль». Генетическое знание тоже таит опасность. Далеко не во всех случаях полученную информацию сразу используют для лечения и профилактики. Наше «исправление» будет неизбежно отставать от наших знаний. Это создаст почву для нежелательных «побочных» эффектов от доступности генетической информации. Политики, ученые, общественные деятели, озабоченные этическими аспектами биологических исследований, считают, что развитие генетики, особенно реальной генетической предсимптомной диагностики наследственных болезней, приведет к тому, что человечество превратится в обеспокоенное своим здоровьем общество [8]. Каждый сможет с большой вероятностью знать, когда и какая хворь его настигнет; в жизни человека начнет доминировать один «медицинский» мотив. Станет ли человек фаталистом и, махнув рукой на будущую болезнь, будет жить пока живет или подчинит свою жизнь профилактике, «знание

о будущем» все равно изменит его внутренний мир, весь его психический облик.

Другая опасность — использование генетической информации для дискриминации отдельных людей или даже популяций. По мере накопления знаний о влиянии генов на поведение может вернуться искушение улучшить человеческую природу, и евгеника начнет возрождаться, быть может, под какой-то новой личиной. Для того чтобы снизить риск таких событий, обществу предстоит обсудить и решить ряд «технических вопросов»: кто будет расшифровывать индивидуальные генотипы? Кто имеет право знать о себе все? И т.п. Но самое главное — не стоит забывать о том, как много свободы оставляет природа человеку. Известно, например, что однояйцевые близнецы (генетически идентичные люди) более схожи между собой, если воспитывались вместе, чем разлученные в раннем детстве и выросшие в разных семьях. Однако есть и такие черты личности, которые для близнецов, живущих вместе, менее сходны, чем для живущих врозь. Возможно, это происходит потому, что первые, желая акцентировать свои различия, активно изменяют характер. Этот факт еще раз показывает, что наша судьба в значительной степени находится в наших руках, а все, что мы знаем о себе и о других, только помогает принимать правильные решения. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-04-49090.

Литература

1. Pedersen N.L. Behavior genetics and the future of psychology // Psychology at the turn of the Millennium / Eds: Von Hofsten C., Backman L. East Sussex, 2002. V.2. P.3—16.
2. Benjamin J., Li L., Patterson C., Greenberg B.D. et al. // Nat. Genet. 1996. V.12. №1. P.81—84.
3. Ebsstein R.P., Novick O., Umansky R. et al. // Nat. Genet. 1996. V.12. №1. P.78—80.
4. Lesch K.P., Bengel D., Heils A. et al. // Science. 1996. V.274. №5292. P.1527—1531.
5. Nakamura N., Muramatsu N., Ono Y. et al. // Am. J. Med. Genet. 1997. V.74. 35. P.544—545.
6. Golimbet V.E., Alfimova M.V., Shcherbatikh T. // World J. Biol. Psychiatry. 2003. V.4. P.25—29.
7. Голимбет В.Е., Манандян К.К., Абрамова Л.И. и др. // Журн. неврол. и психиатрии. 2000. Т.100. №2. С.36—39.
8. Genetic investigation of healthy subjects: Report on presymptomatic genetic testing. Copenhagen, 2002.

Гамма-всплески и гравитационные линзы

О.С.Угольников

Выход за узкие границы видимого излучения ко всему обширному диапазону электромагнитного спектра, совершенный астрономической наукой в прошлом веке, привел к открытию новых классов небесных объектов. Загадку их природы обычно удавалось разрешить с невероятной для астрономии быстротой — за несколько лет или десятилетий. Но есть и исключения.



Олег Станиславович Угольников, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Астрокосмического центра Физического института им.П.Н.Лебедева и Института космических исследований РАН. Занимается внегалактической астрофизикой, в частности физикой гамма-всплесков, а также оптикой атмосферы Земли.

Таинственные вспышки

Без преувеличения можно сказать, что самые загадочные из этих новых объектов — космические гамма-всплески, уже потому, что их природу не удалось понять так быстро. Хотя они были открыты американскими спутниками достаточно давно, в 60-х годах прошлого века [1], даже сейчас, в веке нынешнем, на тему их происхождения ведутся оживленные споры и пишутся тысячи научных работ.

Почему же причина возникновения гамма-всплесков — этих таинственных коротких (продолжительностью от долей секунды до минут) вспышек гамма-излучения из космоса — до сих пор окончательно не уста-

новлена? Прежде всего дело в низком угловом разрешении существующих приемников гамма-излучения, не дающем возможности отождествить гамма-всплеск с известными объектами на небе.

Еще одно препятствие кроется в самих гамма-всплесках, а точнее — в их изотропном распределении по небесной сфере. Всплески не концентрируются в каком-либо направлении: ни к плоскости Галактики, ни к скоплениям галактик, вообще ни к каким небесным областям! Как было справедливо отмечено в статье [2] и многих других работах, такая ситуация может иметь место только в двух случаях: либо источники

гамма-всплесков находятся к нам очень близко по сравнению со звездами и другими составляющими нашей Галактики, либо, наоборот, они являются одними из самых удаленных объектов во Вселенной.

Вторая гипотеза со временем приобретала все большее число сторонников, хотя на первый взгляд она кажется фантастической. Действительно, если мы видим гамма-всплески с таких огромных расстояний, то какими же мощными должны быть эти вспышки и какие, без преувеличения, космические катастрофы могут быть их причиной? На этот вопрос уже было предложено несколько вариантов ответа, и самый попу-

лярный состоит в том, что гамма-всплеск возникает при слиянии тесной системы из двух нейтронных звезд. Обращаясь по орбитам вокруг общего центра масс и теряя энергию за счет излучения гравитационных волн, звезды сближаются и в конце концов «падают» друг на друга [3]. Поскольку нейтронные звезды имеют огромную плотность и очень сильное поле тяготения вблизи поверхности, понятно, что энергодделение при их слиянии будет колоссальным. Высказывались также предположения, что источники гамма-всплесков схожи со сверхновыми звездами — массивными светилами, завершающими свое существование мощным взрывом.

Но как можно проверить ту или иную гипотезу, если мы даже не знаем точного направления, откуда пришел сигнал? До недавнего времени ответа на этот вопрос фактически не было. И лишь в конце 90-х годов двадцатого столетия произошла настоящая революция в исследованиях гамма-всплесков. 28 февраля 1997 г. с помощью итало-голландского спутника «Верро-SAX» впервые было обнаружено так называемое послесвечение гамма-всплеска в рентгеновской области спектра [4]. Представляя огромную важность для понимания природы гамма-всплесков, данное открытие позволило гораздо точнее определить координаты всплеска на небе. Вскоре было найдено и оптическое послесвечение, что еще больше повысило точность локализации.

За прошедшие с тех пор пять лет рентгеновские, оптические и радио-послесвечения были замечены у нескольких десятков всплесков, и со временем это число неуклонно увеличивается. Заслуживает особого внимания мощный гамма-всплеск 23 января 1999 г., у которого оптический компонент был зафиксирован с помощью автоматического телескопа ROTSE во время самого всплеска и оказался на-

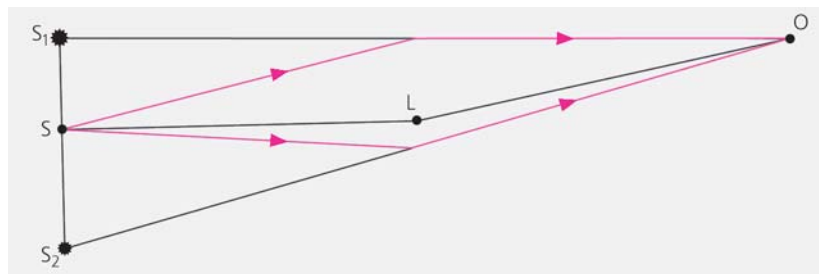


Рис. 1. Явление гравитационного линзирования на точечной массе (S — источник, L — массивное тело, O — наблюдатель, S₁ и S₂ — изображения источника, причем яркость изображения S₁ больше, чем яркость изображения S₂).

столько ярким, что его в принципе можно было наблюдать в обычный бинокль [5]! И наконец, получены первые так долго ожидаемые данные — на месте некоторых послесвечений гамма-всплесков обнаружены далекие галактики, а у отдельных наблюдалось значительное смещение спектральных линий в область больших длин волн («красное смещение»). Оба факта указывали на то, что источники данных гамма-всплесков находятся вне нашей Галактики на очень большом, космологическом расстоянии.

Итак, космологическая гипотеза происхождения гамма-всплесков победила? Но число всплесков с послесвечениями, совпавшими по положению на небе с далекими галактиками, очень невелико, вдобавок все они относятся лишь к одному из подклассов, так называемым длинным всплескам с продолжительностью более 2 с. Являются ли *все* гамма-всплески отзвуками далеких космических взрывов колоссального масштаба, нужно ли относить их источники наряду с квазарами и активными ядрами галактик к самым удаленным известным астрономическим объектам?

Дополнительный аргумент могло бы обеспечить одно важное свойство, присущее всем известным классам внегалактических объектов. Оно заключается в том, что свет, идущий от определенной части удаленных объ-

ектов, встречая на своем пути галактику, скопление галактик или какое-либо другое образование с большой массой, претерпевает гравитационное линзирование (рис.1). За счет эффекта, предсказанного общей теорией относительности, лучи света от источника S вблизи массы L отклоняются, и в результате наблюдатель в точке O фиксирует сразу два изображения источника S по разные стороны от линзы L (на рис.1 эти изображения обозначены как S₁ и S₂). Впервые явление гравитационного линзирования было обнаружено для далекого квазара в 1979 г. [6], и с тех пор найдено уже несколько десятков подобных объектов. Если линзу L нельзя считать точечной массой, мы можем заметить даже больше двух изображений источника, что тоже часто встречается на небе [7].

Но если космические гамма-всплески исходят от удаленных внегалактических объектов, значит, и среди них должны попадаться гравитационно линзированные [3]. И если бы мы нашли подобные всплески, это стало бы убедительным доказательством их внегалактической природы. Каким образом мы могли бы наблюдать гравитационное линзирование для космических гамма-всплесков, по каким признакам следует искать возможных «кандидатов» и что дает такой поиск? Попытаемся ответить на эти вопросы.

Следы линзирования

Прежде чем искать космические гамма-всплески, подвергшиеся гравитационному линзированию, нужно понять, каким образом можно их распознать. Ведь просто увидеть два изображения по разные стороны от линзы, как это происходит с оптическими объектами, в гамма-области мы не сможем: угловое расстояние между ними будет не более $1-2''$, что находится далеко за пределами углового разрешения для данной части спектра. В трудной ситуации на выручку приходит другое свойство гамма-всплесков — их кратковременность.

Вновь обратимся к рис.1 и заметим, что время распространения сигнала от источника до наблюдателя по двум траекториям различно. Во-первых, сами траектории имеют разную длину, а во-вторых, вблизи массы L прохождение сигнала замедляется за счет эффекта Шапиро, одного из следствий общей теории относительности. В итоге сигнал, прошедший на большем расстоянии от точечной линзы, будет зарегистрирован раньше. А если сам источник излучает кратковременный импульс гамма-лучей, то два импульса достигнут наблюдателя один после другого.

Оба импульса должны иметь одинаковую форму и одинаковые спектры, так как картина гравитационного линзирования не зависит от частоты излучения. А если линза представляет собой точечную массу, появляется еще одно важное свойство: первый по времени импульс должен быть ярче, чем второй. В иных случаях последний признак может отсутствовать, однако все равно более вероятно, что два (или более) импульса будут регистрироваться в порядке уменьшения их яркости.

Величина временной задержки между импульсами зависит от маршрута лучей и прямо пропорциональна массе гравитационной линзы. И поскольку

вид линзированного всплеска сильно зависит от типа линзы, столь же сильно от него зависит и методика поиска подобных гамма-всплесков.

Самый очевидный вид гравитационного линзирования, который наблюдается для известных внегалактических объектов и который в первую очередь имеет смысл искать для космических гамма-всплесков, — это макролинзирование, когда роль линзы играет массивная галактика или даже скопление галактик, лежащее близ траектории распространения света от источника к наблюдателю. С учетом известных значений масс подобных объектов можно вычислить, что временная задержка между импульсами составит месяцы или даже годы! То есть мы увидим не двойной гамма-всплеск, а два разных всплеска, но пришедшие из одной и той же области неба и имеющие подобные временные профили и спектры. На основе числа наблюдаемых линзированных источников можно грубо оценить: из известных нескольких тысяч гамма-всплесков $10-20$ должны быть макролинзированными. Казалось, дело остается за малым: найти эти всплески, и гипотеза их внегалактического происхождения подтвердится окончательно...

Неудивительно, что поиск подобных пар гамма-всплесков стал целью большого количества работ, проводимых исследователями в разных странах (см. напр., [8] и [9]). Поиски велись с использованием данных о большей части известных гамма-всплесков, насколько это только было возможно. Но... усилия оказались тщетными. Ни одному исследователю не удалось найти хотя бы одну пару всплесков, полностью отвечающую признакам макролинзирования. Этот результат внушал большие сомнения в том, что проблема происхождения гамма-всплесков уже решена, вновь ставил знак вопроса и призывал к дискуссии. Конечно, у сторонников

внегалактического происхождения гамма-всплесков оставались аргументы в свою пользу. Где гарантия того, что мы не могли пропустить одну из двух компонент линзированного всплеска из-за ее слабости или просто потому, что в этот момент ни один из гамма-телескопов не проводил наблюдения? А может, ее координаты были измерены настолько неточно, что мы приняли пару за два всплеска, пришедшие из разных областей неба?

Итак, оставались нерешенные вопросы, и требовались дальнейшие исследования и новые методы поиска. Именно в этот момент пора вспомнить, что не только гигантская галактика может встать на пути лучей от источника к наблюдателю. Гравитационной линзой может «работать» и более легкий объект, например карликовая галактика или шаровое звездное скопление, коих во Вселенной великое множество, а на более ранних этапах ее существования (которые мы фактически и наблюдаем, когда видим самые удаленные источники) было еще больше. Да, вероятность такого типа линзирования может быть меньше, но насколько легче его найти для гамма-всплесков! Ведь теперь интервал между двумя импульсами уже не будет таким большим, а составит всего несколько секунд, что сравнимо с продолжительностью самого всплеска. Мы уже увидим один всплеск, но с характерной двойственностью (или даже кратностью) временного профиля, и больше не надо будет сравнивать координаты и вести поиски второй компоненты на огромных временных интервалах.

Есть и еще одна особенность данного типа гравитационного линзирования (оно называется мезолинзированием), отмеченная в статьях [10] и [11], которая существенно увеличивает вероятность его наблюдения. Эта особенность связана с возможностью заметного усиления яркости изображения источника

подобной гравитационной линзой. На рис.2 приведена схема распространения света сквозь ядро шарового звездного скопления. Как было показано в работе [10], образование с внутренним распределением массы, характерным для таких скоплений, в качестве гравитационной линзы проявляет очень интересные свойства. Линза такого типа, в отличие от точечной, гораздо больше похожа на оптическую, и у нее имеется некое подобие фокуса, в котором практически сходятся лучи, собранные со значительной площади. И если по воле случая наблюдатель окажется вблизи этой точки, он зарегистрирует многократное усиление яркости источника.

Вдобавок угол преломления лучей, проходящих чуть дальше от центра, очень слабо зависит от прицельного расстояния. Это связано с тем, что во внешних областях шаровых скоплений плотность материи убывает с расстоянием от центра r как r^{-3} , поэтому масса части скопления, находящейся внутри сферы радиуса r , пропорциональна $\ln(r)$. Угол преломления лучей света примерно пропорционален $\ln(r)/r$. Данная зависимость имеет максимум, что приводит к появлению конической каустики, которая выходит из фокуса под углом, близким к углу максимального отклонения лучей. Наблюдатель, находящийся на продолжении прямой источник—линза и вблизи поверхности конической каустики, увидит источник более ярким, чем он есть на самом деле.

Да и внутри конической каустики усиление яркости будет значительным, что видно по большой плотности линий-лучей в этой области на рисунке. Взглянув на него внимательно, можно заметить, что в каждую точку внутри конуса сходятся не два, а сразу три разных луча — именно столько изображений источника может быть видно из данной области пространства. Следовательно,

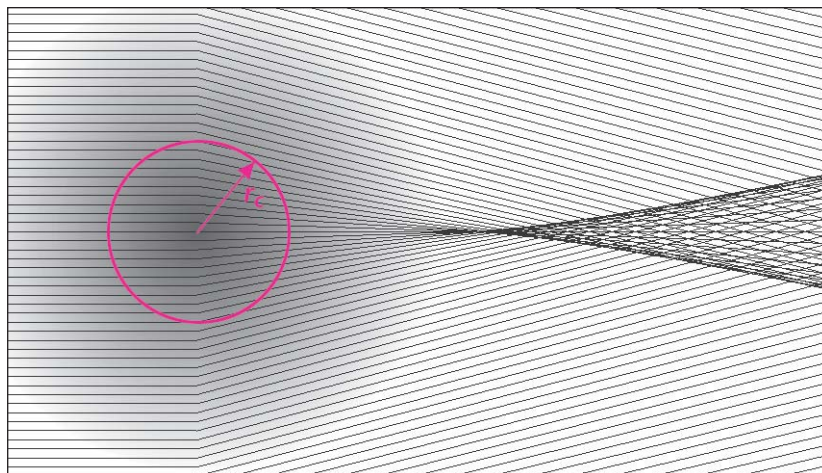


Рис.2. Ход лучей удаленного источника при гравитационном линзировании на шаровом звездном скоплении, рассчитанный по формулам из работы [10]. Окружность соответствует ядру скопления, масштаб по горизонтали и вертикали неодинаков. Лучи, проходящие внутри ядра скопления, собираются практически в одну точку, которая по аналогии с оптической линзой была названа фокусом. Вблизи фокуса, а также поверхности конической каустики, выходящей из него, яркость изображения резко возрастает (для наглядности масштаб по горизонтали не выдержан).

в случае мезолинзирования гамма-всплеска велика вероятность, что структура его профиля блеска будет уже тройственной, хотя и двойственная тоже возможна (если линза компактна или наблюдатель находится намного дальше фокуса). Соотношение яркости и очередности импульсов в общем случае может оказаться любым, однако опять-таки более вероятно наблюдение двух или трех импульсов в порядке убывания их яркости.

Необходимо также отметить, что фокусные расстояния мезолинзирования для типичных шаровых скоплений составляют несколько Мпк, и мы можем увидеть данный эффект только от скопления, расположенного в другой галактике, а источник гамма-всплеска при этом должен находиться от нас еще дальше. Тем самым эффект мезолинзирования, как и макролинзирования, вполне может служить надежным подтверждением внегалактического происхождения гамма-всплесков.

Удастся ли нам найти «кандидатов» — двойные или тройные всплески с подобными профилями блеска и спектрами компонент, или и здесь нас будет ждать неудача?

Долгожданный успех?

Для поиска гамма-всплесков, обладающих описанными выше свойствами, была использована полная версия каталога BATSE, созданного на основе данных Космической обсерватории им.Комптона (США) за все время ее работы с 1991 по 2000 г. Каталог содержит данные о 2704 гамма-всплесках, из которых были отобраны 1512 всплесков с зарегистрированными спектрами и с надежными профилями яркости, измеренными при высоком временном разрешении. Среди этого множества всплесков и проводился поиск возможных случаев мезолинзирования.

На первом этапе были визуально отобраны всплески с ха-

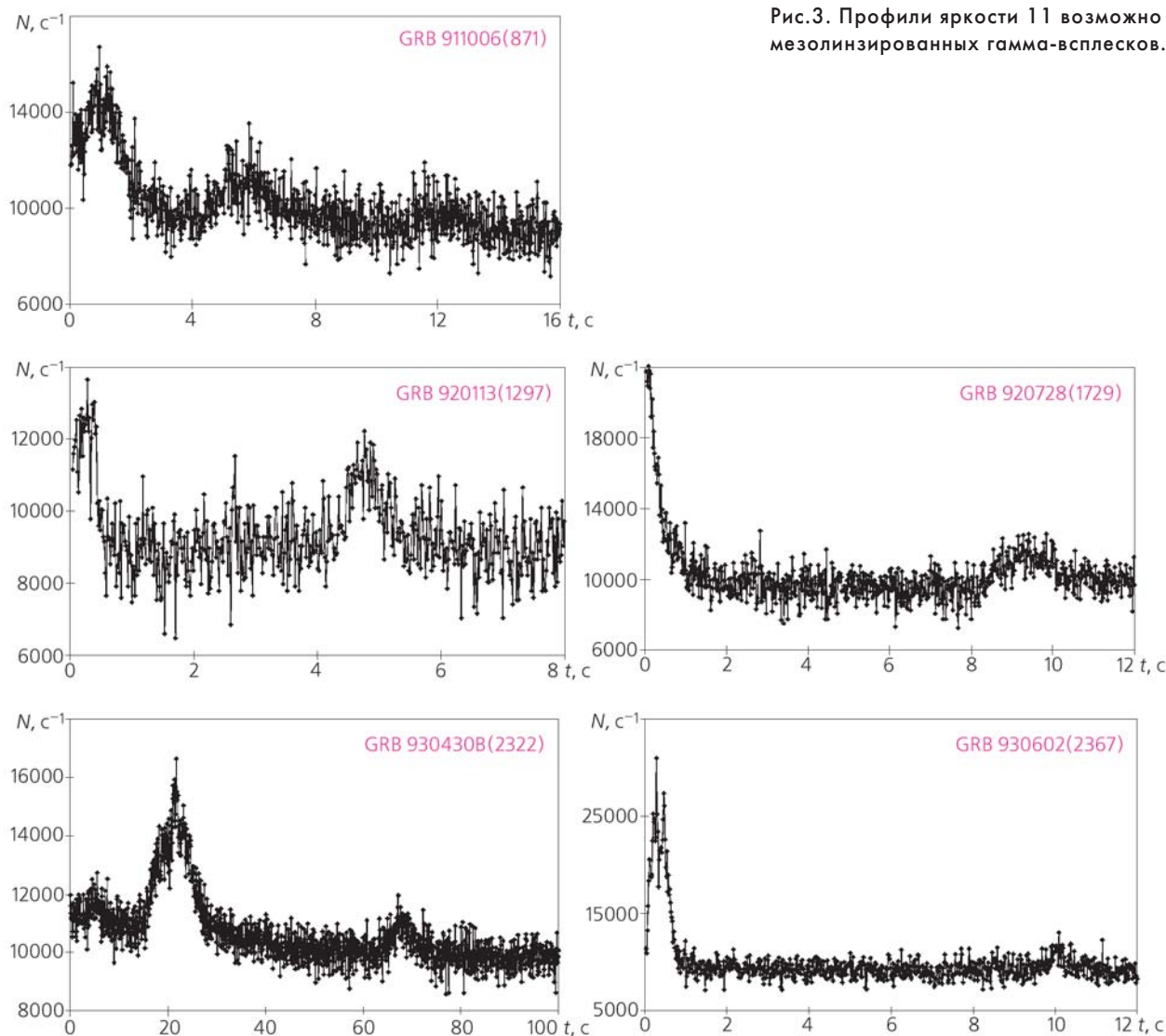


Рис.3. Профили яркости 11 возможно мезолинзированных гамма-всплесков.

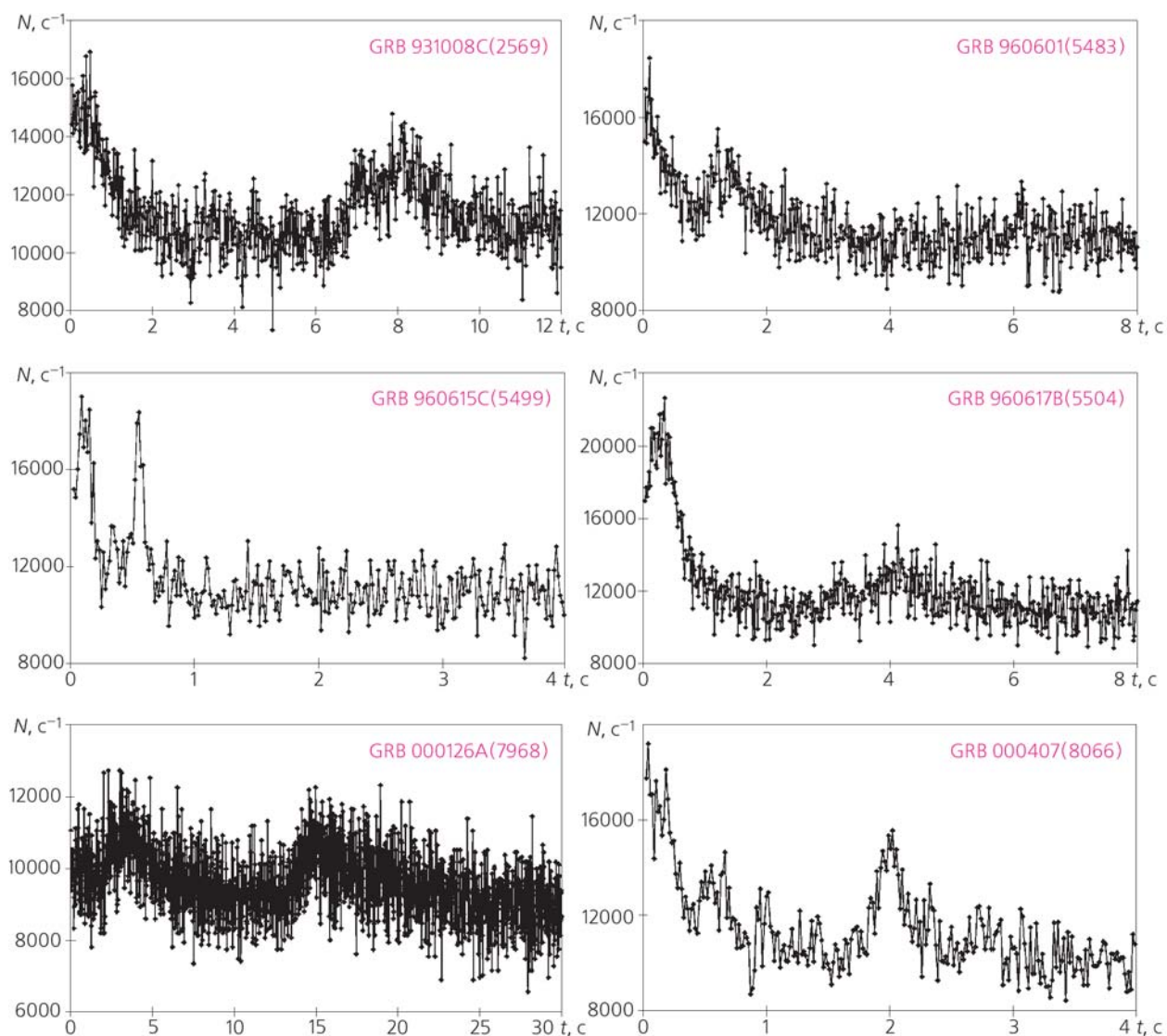
рактерной двойной или тройной структурой профиля яркости. Далее отдельные компоненты проверялись с помощью статистического теста на подобие друг другу, аналогичным образом тестировалось сходство их спектров, и, как выяснилось, именно спектральное сходство оказалось самым жестким критерием отбора.

И все же «кандидаты» в мезолинзированные всплески были найдены! Сразу 11 гамма-всплесков с двойственной структурой профиля яркости прошли все тесты. На рис.3 по-

казаны временные зависимости их яркости, измеряемой числом отсчетов в секунду. Для каждого всплеска приведено его обозначение, образованное номером года, месяца и дня (по две цифры), и номер по каталогу BATSE. Мы видим, что временная задержка между двумя компонентами изменяется от 0.5 с до 50 с, что соответствует массам гравитационных линз в 10^5 – 10^6 масс Солнца (эти значения вполне согласуются с массами шаровых скоплений и космологических объектов).

Но самый поразительный факт заключается в другом. При поиске «кандидатов» в мезолинзированные всплески требования относительно взаимной очередности яркого и слабого импульса не накладывались. И тем не менее у всех 11 «кандидатов» первый импульс оказался более ярким! Если сходство импульсов было бы случайным, то по теории вероятности картина должна была быть иной.

Итак, двойные всплески найдены, и в достаточном количестве. А как быть с тройны-



ми, ведь их мы тоже должны были бы увидеть, и здесь уже гораздо меньше возможность случайного сходства импульсов? В результате поисков тройных всплесков новых «кандидатов» в мезолинзирование к уже найденным 11 не добавилось. Но... третий импульс был найден у двух из этих 11 всплесков, GRB 911006 и GRB 930430B, что можно заметить на рис.3, *слева* (слабая компонента следует за двумя другими у первого всплеска и предшествует им у второго). Тест на подобие профиля яркости и спек-

тра данного импульса с другими двумя дал положительный результат у обоих всплесков. Итак, в нашем арсенале есть и два тройных гамма-всплеска — бесспорно, самые интересные «кандидаты» в мезолинзированные.

Особенно ценен гамма-всплеск GRB 911006, у которого мы наблюдаем правильную очередность импульсов — в порядке убывания яркости: это существенно увеличивает вероятность того, что мы столкнулись с реальным мезолинзированием. Данный всплеск

примечателен еще и тем, что помимо Космической обсерватории им.Комптона он был зарегистрирован космическим аппаратом «Ulysses». Располагая результатами наблюдений из двух пространственно разнесенных точек, удалось локализовать источник с хорошей точностью в тонком кольце на небесной сфере с помощью метода космической триангуляции [12]. Эта область неба (узкая полоса на рис.4) не перекрывается с областью локализации по результатам только Космической обсерватории

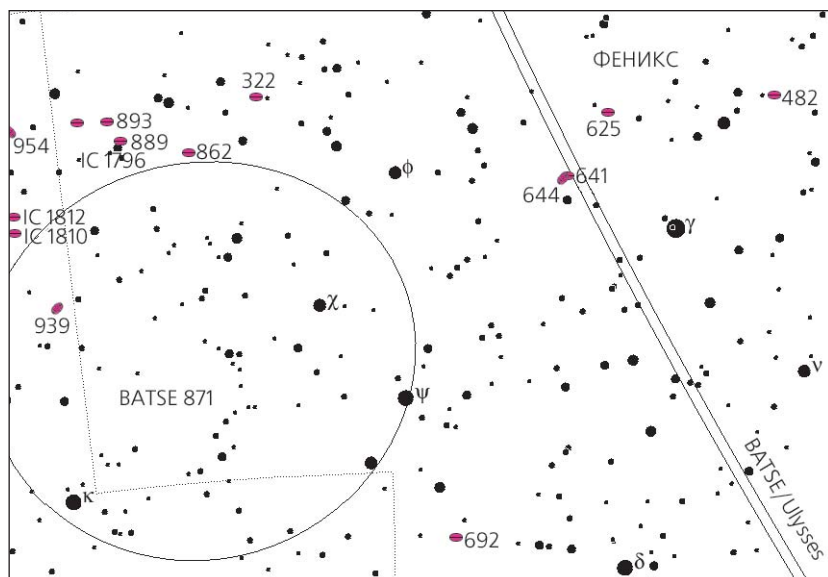


Рис. 4. Локализация гамма-всплеска 6 октября 1991 г. (BATSE 871) по данным Космической обсерватории им.Комптона (круговая область) и триангуляционными измерениями по данным этой обсерватории и аппарата «Ulysses» (тонкая полоса). Цветом обозначены галактики.

(круг на рисунке). Однако последние имеют крайне низкую точность. Но самое интересное заключается не в этом — рядом с триангуляционной полосой локализации, в точке, ближайшей к кругу локализации по данным BATSE, находится достаточно яркая галактика NGC

641. Шаровое звездное скопление из галактики вполне могло бы стать гравитационной линзой для проходящего поблизости сигнала, создав картину, которую и зарегистрировала в октябре 1991 г., в самом начале своей работы, Космическая обсерватория им.Комптона...

Еще чуть-чуть...

Мы рассказали о поиске гамма-всплесков, испытавших, возможно, гравитационное мезолинзирование. К сожалению, еще нельзя убрать из предыдущего предложения слово «возможно». Но совокупность всех фактов говорит о значительной вероятности того, что некоторые из найденных «кандидатов» могут действительно являть собой мезолинзированные всплески, а значит, давать еще один весомый аргумент в пользу их внегалактической природы.

Сейчас можно с уверенностью сказать: одна из самых больших астрономических загадок двадцатого века — загадка происхождения космических гамма-всплесков — приближается к своему разрешению, которое станет одним из первых достижений века двадцать первого. И недалек тот день, когда на страницах научных журналов впервые появится словосочетание «гравитационно линзированный гамма-всплеск» без слова «возможно». ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-02-06140.

Литература

1. Klebesadel R.W., Strong I.B., Olson R.A. // *Astrophysical Journal*. 1973. V.182. P.L85—L88.
2. Курт В.Г., Тухомирова Я.Ю., Шейхет А.И. // *Космич. исслед.* 1996. Т.34. №6. С.564—570.
3. Paczynski B. // *Astrophysical Journal*. 1986. V.308. P.L43—L46.
4. Costa E., Frontera F., Heise J. et al. // *Nature*. 1997. V.387. P.783—785.
5. Akerlof C., Balsano R., Barthelmy R. et al. // *Nature*. 1999. V.398. P.400—402.
6. Walsb D., Carswell R.F., Weymann R.J. // *Nature*. 1979. V.279. P.381—384.
7. Refsdal S., Surdej J. // *Rep. Prog. Phys.* 1994. V.56. P.117—142.
8. Marani G.F., Nemiroff R.J., Norris J.P. et al. // *Gamma-Ray Bursts: 4th Huntsville Symposium*. 1998. P.166—174.
9. Комберг Б.В., Курт В.Г., Кузнецов А.В. // *Астрон. журн.* 1999. Т.76. №9. С.665—671.
10. Yakovlev D.G., Mitrofanov I.G., Levshakov S.A., Varshalovich D.A. // *Astrophysics and Space Science*. 1983. V.91. P.133—155.
11. Барышев Ю.В., Езова Ю.Л. // *Астрон. журн.* 1999. Т.74. №4. С.497—508.
12. Hurley K., Briggs M.S., Kippen R.M. et al. // *Astrophysical Journal Supplements*. 1999. V.120. P.399—408.

Оценка ущерба «здоровью» атмосферы

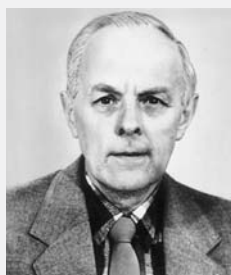


300 лет
Санкт-Петербургу

И.Л.Кароль, А.А.Киселев

К концу XX в. стало ясно, что воздействие человека на окружающую среду переросло региональные рамки и носит глобальный характер. В международном сообществе наметился переход от общих деклараций о сокращении наносимого природе ущерба к практическим мерам. В результате было принято несколько регламентирующих производственную деятельность соглашений, среди которых наибольший резонанс получили Монреальский (1987) и Киотский (1997) протоколы, имеющие как ярых сторонников, так и непримиримых противников, поскольку затрагивают интересы не только разных государств, но и отдельных промышленных корпораций. Полемика вокруг этих документов касается целого спектра проблем — политических, экономических, научных [1]. Мы попытаемся здесь рассказать о количественных характеристиках, положенных в основу соглашений, призванных сократить ущерб «здоровью» атмосферы. Это позволит читателю понять, в какой степени обоснованы требования, предъявляемые в них к различным странам, и насколько их выполнение действительно может улучшить ситуацию.

© И.Л.Кароль, А.А.Киселев



Игорь Леонидович Кароль, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова (Санкт-Петербург). Специалист в области моделирования климата, фотохимических и радиационных процессов в атмосфере. Многие годы занимается проблемами атмосферного озона.



Андрей Александрович Киселев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела динамической метеорологии той же обсерватории. Занимается фотохимическими процессами в атмосфере.

Стоит, видимо, напомнить, что первое международное соглашение — Монреальский протокол, ограничивающий производство и использование фреонов (и полностью их запрещающие с 1996 г. дополнения к этому документу), был ратифицирован почти всеми государствами — производителями этих озоноразрушающих химикатов, в том числе и Россией. Этому предшествовало осознание угрозы

озонному щиту от роста выбросов в атмосферу продуктов сгорания двигателей транспортной авиации, а также и хлор- и бромсодержащих соединений (уже упомянутых фреонов и хладонов) [2, 3]. Соглашение было подписано вскоре после открытия в середине 80-х годов антарктической «дыры» — реального доказательства истощения озонового слоя. В большинстве стран рекомендации протокола были вы-

полнены; на многих холодильниках, кондиционерах, аэрозольных баллончиках появились надписи: «Дружественные к озону» («Ozone friendly»). Измерения почти по всему миру показали прекращение роста, а затем и начало падения содержания в атмосфере наиболее опасных из запрещенных фреонов. Однако процесс этот медленный, и их концентрация в атмосфере приблизится к уровню начала 80-х годов лишь в середине XXI в.

Это, казалось бы, успешное решение озонной проблемы подтолкнуло к принятию в конце 1997 г. в Киото протокола, устанавливающего и регламентирующего снижение выброса в атмосферу парниковых газов (и прежде всего углекислого газа). Каждой из стран-участниц предписано в 2008–2012 гг. снизить выбросы CO_2 на «n%» относительно уровня 1990 г. Например, для США это 7%, для Канады и Японии 6%, для стран Европейского Союза 8% и т.д. Однако каждая страна выбрасывает в атмосферу не только CO_2 , но и дру-

гие газы, воздействующие на коротковолновое и тепловое (длинноволновое) излучения и тем самым формирующие парниковое потепление климата.

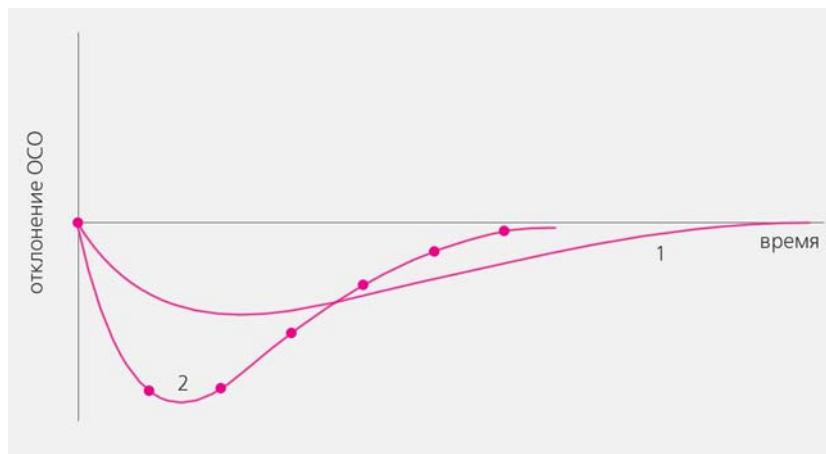
Как же определить вклад того или иного радиационно-активного газа, попадающего в атмосферу? А возвращаясь к разрушающим озон химикатам: какой из них более, а какой менее опасен для него? Очень трудно математически корректно описать многочисленные процессы, присущие такой сложной системе, как Земля—атмосфера (это и химические превращения, и перенос воздушных масс во всех направлениях, и смена фазовых состояний веществ, и испарение, и осадки и т.п.). Еще сложнее удовлетворительно охарактеризовать состояние системы одним или несколькими числами. Для этого из всего комплекса процессов необходимо выделить единственный, подлежащий оценке, который к тому же должен иметь простую и наглядную интерпретацию, понятную неспециалистам, поскольку

использовать его предстояло в первую очередь не ученым, а политикам, промышленникам, экономистам. В результате были предложены и одобрены два критерия — озоноразрушающий потенциал (ОРП) и потенциал глобального потепления (ПГП), которые впоследствии легли в основу ограничений, зафиксированных Монреальским протоколом, его дополнениями, и Киотским протоколом. Остановимся на них подробнее.

Озоноразрушающий потенциал

Использовать ОРП для количественной оценки ущерба озонному слою соединениями, содержащими атомы хлора и брома, предложил сотрудник Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (США) Д.Уэбблс. Идея заключается в том, чтобы сравнить, во сколько раз эффективнее одна молекула (или один килограмм) исследуемого газа воздействует на атмосферный озон, чем такое же количество фреона-11 (CFCl_3). Выбор этого соединения в качестве базисного объясняется тем, что он, наряду с фреоном-12 (CF_2Cl_2), был в середине 80-х наиболее употребляемым и интенсивно производимым химикатом среди хлорсодержащих газов (первый использовался в аэрозольных баллончиках и в пенопластах, а второй — в холодильниках и кондиционерах).

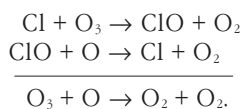
Для вычисления озоноразрушающего потенциала математическая модель, учитывающая фотохимические, радиационные и циркуляционные процессы, настраивается таким образом, чтобы хорошо воспроизводить современное состояние атмосферы. Затем предполагается, что в атмосферу сделан мгновенный залповый выброс исследуемого газа, после чего он распространяется в атмосфере и разрушается в фотохимических реакциях. При этом из мо-



Отклонения общего содержания озона (ОСО), обусловленные выбросами газов 1 и 2. Отсчет времени начинается с момента осуществления залпового выброса. Газ 1 (фреон-11 или -12) вызывает относительно небольшое падение ОСО, но последствия его выброса сказываются достаточно долго. Воздействие газа 2 (фреон-22) — более сильное и кратковременное. Площади фигур, образованных горизонтальной осью и каждой из кривых, отражают суммарный эффект на ОСО от выброса газов 1 и 2 соответственно, а отношение этих площадей, называемое озоноразрушающим потенциалом, показывает, насколько более (или менее) эффективно разрушается атмосферный озон газом 2, чем газом 1.

лекул газа выделяются активные по отношению к озону атомы хлора и брома. Общее содержание озона (ОСО) в атмосфере начинает снижаться, в какой-то момент достигает своего минимума и далее постепенно восстанавливается до первоначального значения, соответствующего невозмущенному состоянию атмосферы. При этом сила и время воздействия газа на ОСО зависит от его состава: выброс фреонов-11 и -12 вызывает небольшое, но длительное падение, а озоноразрушителей следующего поколения, например фреона-22 (CHF₂Cl), более сильное, но кратковременное.

Причина такой разницы в интенсивности и продолжительности влияния на озон кроется в химических свойствах этих соединений. Известно, например, что фреоны-11 и -12 пассивны в тропосфере, они почти не вступают в какие-либо химические реакции, а разрушаются главным образом под действием солнечного света в стратосфере. Поэтому время жизни их молекул с момента поступления в атмосферу до момента разрушения составляет многие десятки лет. Другие фреоны (как, например, фреон-22), напротив, активно реагируют с атмосферными радикалами (в первую очередь с гидроксидом ОН) и, как следствие, живут годами, месяцами и даже днями. В результате фреоны-11 и -12 являются источниками атомов Cl в атмосфере в течение значительно большего времени, чем фреоны следующего поколения. Напомним, что гибель молекул озона в хлорном каталитическом цикле происходит в паре реакций:



По модельным оценкам, каждый атом хлора за время своей «жизни» успевает уничтожить до миллиона молекул озона. Таким образом, суммарный эффект на его общее содержание непосредственно зависит от количе-

ства атомов хлора в молекуле выбрасываемого фреона (так, в молекулах фреонов-11, -12 и -22 их 3, 2 и 1 соответственно).

Отдельного рассмотрения заслуживает, пожалуй, вопрос о величине залпового выброса. В конце 80-х в атмосферу ежегодно попадало больше 300 тыс. т фреона-11. Понятно, что на таком фоне сигнал от выброса килограмма и даже тонны этого вещества выделить невозможно. В то же время атмосферные химические процессы существенно нелинейны, поэтому чрезмерное увеличение размера залпового выброса приведет к несоразмерным результатам для различных фреонов. В качестве компромисса было решено, что его величина, индивидуальная для каждого соединения, должна быть такой, чтобы уменьшение ОСО, вызванное выбросом, не превышало 1%. В этом случае, как показали расчеты, отклик атмосферы с хорошей точностью описывается линейным приближением к величине выброса, другими словами — прямо пропорционален ей.

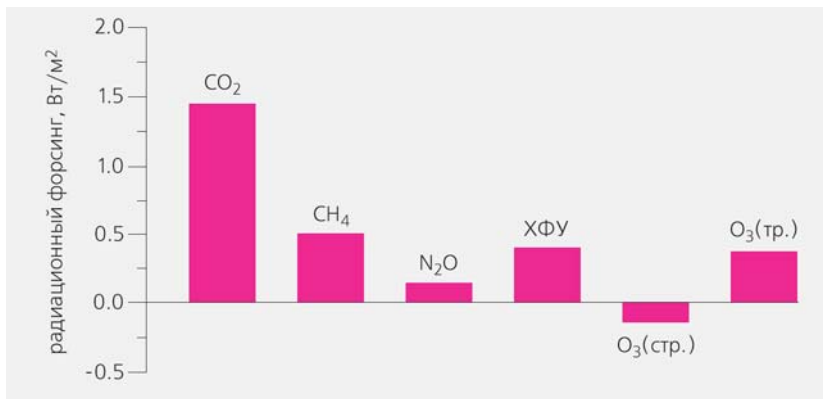
В итоге в Монреальском протоколе и его дополнениях в раздел запрещенных с 1994 г. соединений попали бромсодержащие галоны с озоноразрушающими потенциалами от 2 до 10, и с 1996 г. — фреоны-11, -12, -113, -114, -115, у которых ОРП лежит в пределах 0.4—1.2. Производство фреона-22 и других соединений с потенциалами меньше 0.1, «замороженное» с 1996 г., должно быть снижено на 90% к 2015 г. и запрещено с 2030 г.

Потенциал глобального потепления

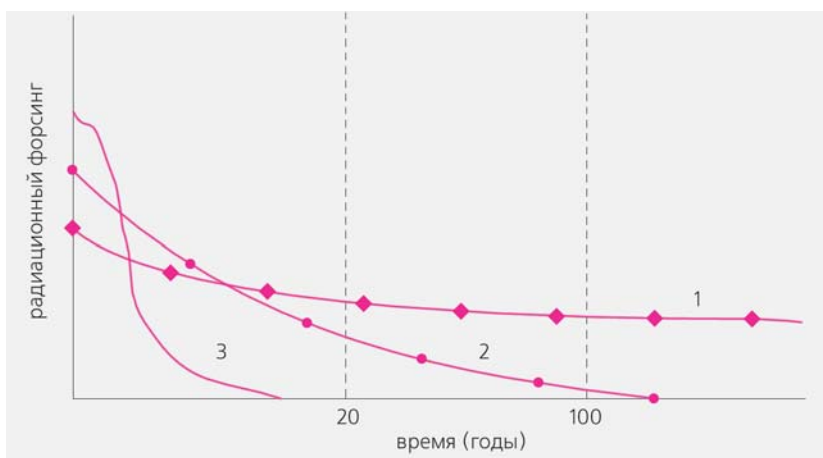
Как известно, система Земля—атмосфера получает солнечную коротковолновую радиацию, а сама в открытый космос излучает длинноволновую (тепловую). При этом в среднем за год количество приходящей и уходящей радиации равно — иначе

среднегодовая температура не оставалась бы почти неизменной в течение ряда последних тысячелетий. Земная атмосфера обладает способностью улавливать часть уходящей радиации и направлять ее к Земле (парниковый эффект). Вот почему температура воздуха у поверхности в современных условиях примерно на 33° выше, чем она могла быть при отсутствии атмосферы. Поглощают длинноволновую радиацию молекулы некоторых составляющих атмосферного воздуха, в числе которых водяной пар, углекислый газ, озон, метан, закись азота и др. К этой же группе относятся и фреоны. Многолетние наблюдения показывают, что содержание большинства перечисленных парниковых газов в атмосфере быстро увеличивалось в последние десятилетия. В соответствии с этим усиливался и парниковый эффект, в результате чего среднегодовая приземная температура воздуха сейчас выросла приблизительно на 0.5—1° по сравнению с серединой XIX в. Дальнейший ее рост отнюдь не безобиден, так как повлечет за собой таяние ледников, подъем уровня воды в Мировом океане, затопление прибрежных и низменных участков суши, гибель или миграцию некоторых представителей флоры и фауны, перестройку циркуляции атмосферы и т.д. Отсюда понятно стремление по крайней мере сократить темпы прироста концентрации парниковых газов, поставив, где это возможно, под контроль их выбросы в атмосферу.

Обычно для описания текущего радиационного состояния атмосферы используют разность потоков коротковолнового и длинноволнового излучения на уровне тропопаузы — границы раздела между тропосферой и стратосферой. Эта разность (обозначим ее буквой *F*) чутко реагирует на различные природные явления и катаклизмы, будь то крупные извержения вулкана или лесные пожары, усиление солнечной ак-



Глобальные значения радиационного форсинга, обусловленного увеличением содержания в атмосфере за период 1750–2000 гг. парниковых газов: углекислого газа (CO₂), метана (CH₄), закиси азота (N₂O), фреонов (хлорфторуглеродов, ХФУ), а также озона (O₃): стратосферного (стр.) и тропосферного (тр.). Наиболее велик радиационный форсинг (с доиндустриального периода по настоящее время) от роста концентрации CO₂, многократно превосходящий влияние всех остальных парниковых газов.



Пример эволюции радиационного форсинга, обусловленного выбросом газов 1, 2 и 3, живущих в атмосфере несколько сот лет, десятки лет и годы соответственно. Площадь фигуры, ограниченной осями координат, одной из пунктирных линий и одной из кривых 1–3, характеризует величину суммарного эффекта на радиационный баланс атмосферы от выброса соответствующего газа за 20, 100 или 500 лет. Отношение площадей, ограниченных кривыми 2 (или 3) и 1, — потенциал глобального потепления газа 2 (или 3). Кривая 1 соответствует эволюции радиационного форсинга CO₂.

тивности или массовый выброс в атмосферу парникового газа. Поэтому, рассматривая разность величин F для возмущенного ($F_{\text{возм}}$) и невозмущенного ($F_{\text{невозм}}$) состояний атмосферы, мы получим ΔF — численную характеристику отклика атмосфе-

ры, называемую радиационным форсингом (от англ. forcing — принуждение). Его величина вычисляется с помощью сложных математических моделей, позволяющих рассчитать как концентрации парниковых газов в атмосфере, так и поглощение

длинноволнового излучения каждым из газов. На сегодняшний день у разных исследователей совпадают оценки этой характеристики (с погрешностью в несколько процентов). Отметим также и то, что положительный радиационный форсинг свидетельствует о нагреве атмосферы, а отрицательный — о ее выхолаживании. Другими словами, рост концентрации озона способствует увеличению температуры воздуха в тропосфере, но снижение содержания O₃ в стратосфере ведет к пониженной температуре.

Последствия выбросов парниковых газов могут сказываться в течение многих лет и десятилетий, причем продолжительность воздействия зависит от их времени жизни. Чтобы оценить влияние каждого из парниковых газов на атмосферу и климат в ближайшее время и далекой перспективе, используют понятие «потенциал глобального потепления» (ПГП). Методика его оценки во многом схожа с вычислением озоноразрушающего потенциала. Здесь также моделируется мгновенный залповый выброс изучаемого парникового газа в атмосферу. Затем рассчитывается эволюция вызванного им изменения содержания радиационно активных газов и радиационного форсинга. Как же он изменяется во времени?

В начальный момент, под действием всей массы выброшенного газа, значения радиационного форсинга наиболее велики. В последующем молекулы разрушаются в химических реакциях, оседают, вымываются осадками и т.д., поэтому количество выброшенного газа, а с ним и радиационный форсинг уменьшаются. Но темп убывания зависит от времени жизни данного газа в атмосфере.

Методики вычисления озоноразрушающего потенциала и потенциала глобального потепления имеют одно существенное различие. Если первый оценивает эффект выброса газа за весь период его действия,

то второй — за предварительно оговоренный промежуток времени (20, 100 и 500 лет). Тем самым соизмеряется «радиационное здоровье» атмосферы в ближайшее время, в обозримом и отдаленном будущем.

Конечно, в выборе промежутков времени допущена некоторая условность (почему, например, именно 20 лет, а не 10 или 25). Дело в том, что действие одного газа достаточно сильное, но короткое (те самые первые 20 лет), а других — гораздо более длительное, и в будущем может оказаться, что эффектом первого можно пренебречь. На практике же для всех нас куда важнее, каким может быть вклад в радиационный баланс атмосферы каждого из газов в ближайшем или хотя бы обозримом будущем. А в этом случае они сравнимы.

Согласно существующим оценкам, приблизительно 60–70% суммарного парникового эффекта в атмосфере обеспечивается углекислым газом. Это обстоятельство объясняет, почему CO_2 был выбран в качестве базисного газа при расчетах потенциала глобального потепления. Но даже при беглом знакомстве с его величинами у других парниковых газов (за 20-летний период) видно, что молекула CO_2 наименее эффективно поглощает радиацию. Например, у метана он равен 63, у оксида азота — 270, у фреонов-11 и -12 — 4500 и 7100 соответственно, в то время как, по определению, потенциал углекислого газа равен единице. На первый взгляд, налицо явное противоречие, но такое впечатление обманчиво. Дело в том, что этот потенциал соизмеряет воздействие на атмосферу равных масс парниковых газов, в действительности же содержание CO_2 многократно превосходит концентрации других: в каждом миллиарде молекул воздуха имеется 365 000 молекул CO_2 , 1700 — CH_4 , 300 — N_2O и менее одной молекулы фреонов-11 и -12. Поэтому при учете выбросов парниковых газов с террито-

рий стран-участниц Киотского протокола этот учет ведется по выбросу CO_2 , а выбросы остальных газов имеют дополнительный «вес», равный их ППП. Например, выброс метана надо умножить на 63 (его потенциал глобального потепления), а фреона-11 — на 4500. Таким образом, «вес» малых масс выбрасываемых газов сильно возрастет.

Являются ли ОРП и ППП «зеркалом» атмосферы?

Теперь, когда мы познакомились со «столпами» Монреальского и Киотского протоколов, самое время задаться вопросом: сколь адекватно они отражают положение дел в реальной атмосфере? Вопрос этот отнюдь не надуман. Начнем с того, что моделируемый залповый выброс, который используется при вычислении потенциалов, не имеет какого-либо аналога в природе, за исключением, может быть, мощного извержения вулкана. Во всех остальных случаях загрязнение атмосферы можно уподобить скорее процессу слияния многочисленных маленьких ручейков в один полноводный поток. Так, хлор- и бромсодержащие соединения попадают в атмосферу в результате повсеместного использования растворителей и распылителей, при выработке ресурса холодильными установками, при тушении пожаров и т.п. Метан просачивается из скважин и шахт, сопутствуя газо- и нефтедобыче. Он же — продукт жизнедеятельности многих видов бактерий, колоний термитов, а также болот и рисовых плантаций. Складывается парадоксальная ситуация: выводы о свойствах реальной атмосферы делаются, исходя из нереальных предположений! Причем эта ситуация усугубляется тем, что величина модельного залпового выброса обычно в несколько раз превосходит величину реально-го ежегодного выброса.

Существенный источник ошибок при вычислении потенциалов — место, с которого производится залповый выброс. Для каждой климатической зоны (полярной области, умеренных широт, тропиков) характерны свой температурный режим, своя циркуляция воздушных масс, свой уровень и режим освещенности. В соответствии с этим интенсивность фотохимических превращений разнится там на несколько порядков. Это не слишком существенно для газов, живущих десятки лет и более, они приблизительно равномерно распределены в атмосфере, и потому их содержание примерно одинаково в разных частях земного шара. Но для других, существующих в атмосфере только недели, дни и даже часы, выбор места модельного выброса важен, и для унификации полученных оценок необходимы специальные приемы. Видели ли инициаторы введения потенциалов слабые стороны этих характеристик? Скорее всего, да. Однако в сложившейся в те годы ситуации необходимо было срочно количественно оценить степень воздействия на состав атмосферного воздуха и климат и привлечь к результатам внимание мировой общественности.

Как мы упоминали ранее, правомерность применения потенциалов зиждется на линейности отклика атмосферы на заданное возмущение. Судя по всему, такое предположение вполне приемлемо и для ее современного состояния, и для ближайшего будущего. Но для 100-летнего, и тем более 500-летнего, отрезка времени это вовсе не очевидно. Да, одни химикаты заменяются другими, регулярно совершенствуются технологии, однако факт остается фактом: темпы загрязнения природной среды возрастают. В этой ситуации можно с полной уверенностью утверждать, что состав атмосферного воздуха и климатический режим в последующие столетия будут заметно иными, нежели нынеш-

ние, а комплексный эффект от этих перемен перешагнет рамки гипотезы линейности относительно современного состояния. Таким образом, используемые индексы удовлетворительно описывают текущее положение дел, но нуждаются в коррекции, когда речь заходит об оценках отдаленной перспективы.

И что же дальше?

Так что же такое международные природоохранные ограничения — политическая игра, инструмент экономического давления или неперемимое условие выживания? Думается, и одно, и другое, и третье. Для политиков западных государств, где провозглашен приоритет интересов личности, демонстрация заботы о здоровье и благополучии нации — беспроигрышный ход в борьбе за высокий рейтинг. Богатые промышленно развитые страны, пойдя на немалые расходы для создания и внедрения новых технологий, стремятся расширить рынок сбыта, навязав их тем, кто победнее, и покрыть тем самым часть затраченных средств. В то же время даже ярые противники принятых ограничений не рискуют оценивать факт загрязнения среды как положительный. По существу, копья ломаются вокруг единственного вопроса: пренебрежимо ли влияние на эволюцию окружающей среды современного антропогенного загрязнения по сравнению с естественными природными процессами? В зависимости от ответа можно оставить решение проблемы грядущим поколениям, или, скрепя сердце, что-то предпринимать, руководствуясь девизом: «Если не мы, то кто?»

Возобладала вторая точка зрения, что и привело к заключению международных конвенций. Сегодня накоплен некоторый опыт реализации существующих договоренностей, появились новейшие научные разработки. Но процесс идет трудно. США, чья доля в общемировой эмиссии парниковых газов в атмосферу максимальна и составляет 24%, не согласны выполнить свои обязательства по Киотскому протоколу и отказались от них. Ряд модельных оценок свидетельствует о том, что даже скрупулезное выполнение всеми странами этого соглашения не даст ощутимого замедления глобального потепления. А коли так, оправданы ли многомиллиардные затраты? Ослабление парникового эффекта связано главным образом с контролем за углекислым газом и отчасти метаном — газами как естественного, так и антропогенного происхождения, содержащимися в мировом океане и недрах Земли. Именно поэтому контроль за ними остается сложной и пока нерешенной задачей. Значительно проще контролировать многочисленные традиционные и вновь создаваемые химикаты, синтезируемые для нужд химической, парфюмерной, холодильной промышленности, сельского хозяйства и т.п.; их массовому производству и продаже предшествует экспертиза, включающая в себя и определение их ОРП и ПГП. Однако вклад таких соединений в парниковый эффект очень мал. Более благополучно обстоят дела с Монреальским протоколом, требования которого в основном выполняются в течение ряда лет. Однако говорить о его благотворном влиянии, направленном на восстановление озоно-

го слоя, преждевременно. Недавние исследования, проведенные с участием одного из авторов этой статьи, показали, что эволюция озонового слоя в период 1992—2000 гг. почти полностью зависела от текущей метеорологической ситуации и лишь на 1—2% обусловлена эффектом от выполнения соглашений [4].

Человечество лишь в начале поиска и выполнения совместных решений, направленных на охрану окружающей среды в глобальном масштабе. Безусловно, необходимо время, чтобы правильно оценить значимость уже сделанного. Возможно, ограничения протоколов окажутся не такими эффективными, как задумывали их инициаторы. Однако сделаны первые шаги в правильном направлении: исполнение уже принятых соглашений — пробный камень в деле плодотворного международного сотрудничества. Но предстоит приложить немало усилий, чтобы совершенствовать наши знания и научиться искусству отстаивать свои национальные интересы и находить компромисс при выработке последующих конвенций.

Состояние среды нашего обитания слишком важно для человечества, поэтому международные консультации и соглашения наверняка сохранят свою актуальность. Но в дальнейшем, возможно, появятся другие, более совершенные критерии и оценки антропогенного воздействия на «здоровье» атмосферы — работа в этом направлении ведется во многих странах и организациях. Дорогу осилит идущий...■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-05-65399.

Литература

1. *Иноземцев В.Л.* Кризис Киотских соглашений и проблема глобального потепления климата // *Природа*. 2001. №1. С.20—29.
2. *Кароль И.Л., Киселев А.А.* Химия атмосферы: спурт длиной в 30 лет // *Природа*. 2002. №5. С.31—37.
3. *Кароль И.Л., Киселев А.А.* Нужно ли менять «Боинг» и Ту на ковер-самолет? // *Природа*. 2001. №5. С.60—66.
4. *Егорова Т.А., Розанов Е.В., Кароль И.Л. и др.* // *Метеорология и гидрология*. 2002. №1. С.5—13.

Письмо — автобиографический путеводитель

Т.И.Никишанова

С Николаем Владимировичем Тимофеевым-Ресовским я познакомилась в Институте медико-биологических проблем, куда его пригласили в 1967 г. консультантом, и постепенно стала его помощницей и другом. После смерти Елены Александровны Тимофеевой-Ресовской (1973) здоровье Николая Владимировича, особенно зрение, серьезно ухудшилось. В свои еженедельные приезды в Обнинск я помогала ему разбираться в бумагах и читала их. Среди массы корреспонденции были письма из Франции от Олега Цингера. Так состоялось мое заочное знакомство с художником-анималистом, большим другом Тимофеевых-Ресовских.

Олег Александрович Цингер (1910—1998) родился в Москве. Его отец, Александр Васильевич (1870—1934), — профессор Московского университета, физик, механик, математик, автор учебников по физике и механике. По его «Начальной физике» учились многие поколения. Мать, Вера Николаевна Павлова (1876—1962), — актриса МХАТа, одна из первых учениц Станиславского.

Во время гражданской войны и революции семья проживала в Крыму, где климат подходил

нездоровому Александру Васильевичу, страдавшему спондилезом. В это время он читал много лекций на разные темы, в том числе о живописи, литературе, истории. В 1921 г. Цингеры вернулись в Москву, но уже через год для продолжения лечения главы семейства они вновь уехали, на этот раз в Берлин. По крымским материалам и впечатлениям в 1927 г. Цингер выпустил «Занимательную ботанику» с рисунками художника Бельсона, генерала Носкова и юного Олега. Тираж второго издания в 1932 г. составил несколько миллионов экземпляров. Сын его, Яков Александрович, в 50-е годы по примеру отца выпустил в Москве «Занимательную зоологию».

Олег получил домашнее образование, направленное на развитие интересов к литературе, живописи, театру, но больше его привлекал мир животных и растений, а в Берлине главным стало рисование и зоологические сады. В 1924 г. отец представил Олега Л.О.Пастернаку, который так оценил рисунки 14-летнего художника: «Это серьезно, это будет его профессией». По воспоминаниям О.Цингера: «Папа облегченно вздохнул и пришел в хорошее настроение <...> на улице сказал: «Пойдем, выпьем пиво и съедим сосиски. Довольно физиков и ма-



О.А.Цингер. 1979 г.



Л.О.Пастернак.



В.А.Ватагин и О.А.Цингер.

тематиков. Безграмотные художники тоже должны существовать!»

В 1927 г. О. Цингер поступил в Берлинское высшее училище ваяния и прикладного искусства. Тогда же возобновились его встречи с В.А.Ватагиным (1883—1969), которого пригласили в Берлин иллюстрировать «Жизнь животных» А.Брема. Они много общались, посещали музеи и зоологические сады, рисовали вместе. Через три месяца Ватагин вернулся в Москву, больше с Олегом они не встречались, но переписывались всю жизнь.

В Берлине Ватагин останавливался у своего старого друга Н.В.Тимофеева-Ресовского (1900—1981), с которым и познакомил 17-летнего Олега. По воспоминаниям Цингера: «Такого человека, как Николай Тимофеевич, я еще в жизни не встречал. Невероятного темперамента, веселый, энергичный, с чувством юмора <...>. Науку Тимофеева я, конечно, понять не мог, но вся душевность, гостеприимство и жизнерадостность этого семейства меня обворожили».

Дружба продолжалась и крепла. Во время войны Цингер с женой и сыном жили и работали в Бухе с Тимофеевыми-Ресовскими. «Бух, созданный тобой и Лелей, превратился в какую-то чудесную сказку, которой нет места на этом свете! Во всяком случае, там, где нет тебя!» (из письма Цингера Тимофееву-Ресовскому в июле 1980 г.). «Надо было знать Бух и всю эту атмосферу незабываемой семьи Тимофеевых, чтобы все полностью оценить! Не забывайте, что Колюша не только знаменитый генетик, но и «Петр Великий», и «Степан Разин», и «Козьма Прутков», и просто студент, и казак, и «потешный», и т.д. Когда Колюша ходил из од-

ного угла комнаты в другой и что-нибудь изрекал, то это было незабываемо!» (из письма Цингера мне в июле 1980 г.).

Олег Цингер уехал из Берлина в 1948 г. После войны жил в Париже, много путешествовал, рисовал и устраивал выставки. До 1967 г. судьба Тимофеева-Ресовского была ему неизвестна. 27 декабря 1967 г. в Обнинск пришло первое письмо: «...к французам я не привык и даже терпеть их не могу. Париж идиотский, утомительный, снобистский, бездушный город. <...> Друзей нет! Душевно я совсем одинок, и все душевное, теплое, культурное, умное и нежное превратилось только в душу — разрывающее воспоминание. <...> Все же самого главного нет! Души! Отдыхаю только в природе и в хорошем ZOO или у моря или перечитываю русскую классическую литературу. <...> Побывал в Марокко и Алжире. Ночь в Сахаре была, пожалуй, самым большим переживанием из моих путешествий! Величие неба и песка!»

Так началась многолетняя переписка Цингера с семьей Тимофеевых-Ресовских. Каждое письмо — это рассказ, новелла, наполненные впечатлениями, описаниями, множеством рисунков, рисуночков и открыток. К Тимофеевым-Ресовским собирались «на новое письмо», как бы встречаясь со старыми друзьями: Добужинскими, Сашей Носковым, Сергеем Мамонтовым, Таней Шалапиной, Н.Л.Бенуа, Максом Пешковым, В.И.Качаловым, О.Л.Книппер-Чеховой, М.Ф.Андреевой...

Было получено 193 письма; 93-е отправлено в день кончины Елены Александровны — 29 апреля 1973 г. На время переписка прервалась и восстановилась в 1975 г. Ответы Цингеру я писала под диктовку Тимофеева-Ресовского до его смерти в 1981 г.

О.ЦИНГЕР – Н.В.ТИМОФЕЕВУ-РЕСОВСКОМУ
Июль 1977 г.

Дорогой Колюша!

Вот тебе история моей любви к зоологическим садам. Как хорошо я помню Московский зоологический сад, со входом в виде башни из камней, над которой развивается трехцветный флаг. Ехать туда нужно было на трамвае, и эта одна поездка уже доставляла мне огромное удовольствие. В то время я мечтал стать трамвайным кондуктором, мечтал иметь дощечку с цветными билетами и отрывать их, чиркая карандашиком, как это делает кондуктор <...>. Так как лето мы проводили на даче, то поездки на трамвае в зоологический сад обычно совершались зимой. Мне полагалось брать с собой три французские булочки для кормления зверей, но на чистом морозном воздухе эти булочки мне так нравились, что обычно я съедал их сам. Запах хищных птиц (направо при входе), лисиц и барсука примешивался ко вкусу булочки и к чудному воздуху. Помню этот вкус до сих пор! Потом мы покинули Москву и уехали в Харьков и дальше на юг в Крым, и мне казалось, что я уже никогда не увижу ни московского трамвая, ни Московского зоологического сада.

В Харькове жил мой дядя, ботаник Н.В.Цингер, и зоолог П.П.Сушкин, большой друг юности моего отца. Сушкин работал при музее, и у него была огромная коллекция птичьих чучел, которые лежали, как мумии, в бесконечных шкапах. Иногда Сушкин открывал длинные ящики шкапа и показывал мне труп какой-нибудь птицы — орла, шурти, сизоворонки или удода. Харьков летом был пропитан запахом белой акации. Это дерево было ново для меня и приводило в восторг. Был и зоологический сад, в котором росло также много белых акаций. Сам сад был небольшой, зверей было не очень много, за вход ничего не брали. Зоопарк сразу переходил в довольно большой луг, поросший цветами. В зоологическом саду мне больше всего нравился огромный байбак, а на чудном лугу я впервые в моей жизни услышал полевых сверчков и увидел больших зеленых ящериц. Также в зоологическом саду я впервые поймал большого жука оленя.

После Харькова зоологический сад был совсем забыт. Мы переселились жить в местечко Темис-Су, неподалеку от Никитского ботанического сада, и дикая, южная природа совершенно заполнила все мое существо. Мы жили почти в лесу, на горе, и нас окружали виноградники и дубы. Впервые я услышал цикад, впервые увидел большие пинии, оливковые деревья и черные кипарисы. Фауна Крыма меня восхитила. Так как тогда у нас не было много просторного места, то я устроил у себя целый террариум. Между двух больших окон жили 200 богомолы и восхитительные крымские жуки-лисы, которые хищно въедались в улиток. Я ловил леопардовых ужей, желтопузиков и большое количество лягушек древесниц-квакш, которые жи-

ли вблизи рукомойников. Иногда мы совершали походы к морю, и там я впервые ловил крабов. Крым тогда раз и навсегда наложил на меня свою «южную печать», и после этих трех лет крымской жизни я раз навсегда полюбил «европейский средиземноморский юг». Пинии, оливки, агавы и кричащие цикады наполняют мою душу счастьем. После Темис-Су мы перебрались в Севастополь! Это уже было совсем не то, и по Темис-Су я очень скучал. С горя я решил сделаться моряком, так как море и порт все же произвели на меня должное впечатление. Начал я мою деятельность моряка с того, что плохо нататуировал себе на левой руке, немного пониже локтя, якорь. Родители узнали об этом не сразу, а когда узнали, то были очень недовольны. Скверно нарисованный темно-синий якорь остался на всю жизнь и даже не поблек. Моя деятельность моряка на этом закончилась.

В Севастополе был аквариум, директором которого был В.Н.Никитин. С ним и его очень очаровательной женой мои родители очень дружили, и мне было позволено почти каждый день ходить в аквариум и в музей, где я впервые начал рисовать рыб. Рисовал я не живых рыб, в аквариуме, которых было мало и которых плохо было видно, а препарированных рыб в спирту. Были там и крабы, и все эти различные формы морских животных. Однажды я был взят на два дня на «экспедицию драгирования» на катере «Александр Ковальский». Это было очень хорошо! Никитин, помню, мне подарил книгу Каразина «С севера на юг». Эта книга и рисунки Каразина мне очень понравились, и я начал подписываться «в стиле Каразина». После Ялты, Темис-Су и Севастополя мы вернулись в Москву. Москва мне тогда страшно не понравилась! Меня как-то поразила духота, очереди, переполненные трамваи и вечно чем-то недовольные люди. Я вспоминал море, рыб, цикад, лег на диван и горько плакал. И вот вдруг как-то опять было произнесено «зоологический сад» и решено поехать его проведать. На этот раз не на трамвае с гувернанткой, а с отцом на извозчике и без французских булок. И вот я увидел опять столь мне знакомую башню из камней в псевдошотландском стиле и развивающийся на ней красный флаг. Директором сада был тогда некий Котс, знакомый моего отца, и я получил разрешение даром проходить в сад, когда хочу. В то время я читал книжки А.Чеглона с иллюстрациями В.А.Ватагина, выпускавшиеся в виде отдельных тетрадей. Рассказы об африканских животных и о животных нашей Родины мне очень нравились, а в рисунки Ватагина я просто влюбился. Я узнал, что Ватагин бывает у Котса, но не смел мечтать о том, чтобы меня представили. И вот однажды я увидел в саду сидящего на складной скамеечке человека с бородкой, рисующего барана. Я сразу понял, вернее, почувствовал, что это Ватагин! Немного волнуясь, но все же довольно смело, я подошел к человеку

и спросил: «Вы Ватагин?» — «Да», — ответил он сконфуженно. — «А вы когда-нибудь гориллу видели?» — спросил я. — «Нет, но вот шимпанзе и орангутанов видел много». Это была наша первая встреча и первая беседа. Теперь мне эта встреча даже представляется слегка исторической... Темис-Су и Севастополь отошли на задний план, и я решил сделать зоологом и рисовать животных для науки. Из зоологии и науки ничего не получилось, но с Ватагиным мы остались друзьями на всю жизнь, и на всю жизнь я полюбил зверей и «зоологический сад».

Тогда в Московском саду было не очень-то много животных, но мне казалось, что сад переполнен. Были одна обезьяна Дэзи, один серый кенгуру, россомаха, эму и барсук. Ватагин учил меня делать наброски и рассказывал мне о зоопарках западной Европы, о виденных им орангутанах, жирафах, носорогах и других необычайных животных.

Мы переехали в Берлин и, наконец, пошли в Zoologischer Garten (тогда еще не существовало Zoo), но сад оказался закрыт! В Германии была послевоенная инфляция, и никто, кроме меня, не думал об орангутанах и носорогах. Открыт был только аквариум, который мне тогда очень понравился, но все же несколько дней я был в отчаянье. Но придя к тогдашнему директору сада Гехаймрату Геку, мы передали ему привет от г-на Котса и г-на Ватагина и были встречены с распростертыми объятиями, и нам (папе, маме и мне) были выданы входные билеты в Zoo. Таким образом, я помню полный упадок Берлинского зоологического сада, его постепенный расцвет, его полный разгром во вторую мировую войну и его новый расцвет, доведенный до максимума. Когда в Берлинском зоопарке в последний раз я восхищался большим зданием в виде тропического леса, по которому летали птицы, носороги, смотрел на новый дом настоящих носорогов, то вспоминал согнутые решетки, простреленные стены и скульптуры животных, руины домов и могилы с повешенными касками. Но в Берлине я уже не жил и только три раза навещал его. Сейчас в Берлине два больших, очень хороших зоологических сада: Zoo в Западном Берлине и Tierpark в Восточном. Оба сада очень различны, исключительно богаты и хорошо устроены! По разнообразию животных Zoo в Западном Берлине лучше и богаче, а по величине и качеству отдельных животных лучше Tierpark.

Относится к зоологическому саду можно по-разному, а поэтому все сады могут быть по-разному хороши или плохи. Многие ищут в зоопарке только хороший тенистый парк, где можно погулять и отдохнуть, а на зверей им вообще наплевать. Огромное количество людей думают, что зоологический сад — исключительно забава для детей, а есть и такие, которые считают, что зоопарк — это жестокость, тюрьма для животных. Я

лично люблю смотреть животных, и для меня важно, чтобы было много редких и интересных зверей и, конечно, эти звери были хорошо устроены. Большой парк, в котором бродят только олени и фазаны, меня мало интересует. Зоопарк совсем не тюрьма, а убежище для животных. Много животных живет в зоопарке куда лучше, чем на воле! Многие не знают, что, например, муфлоны из Корсики и Сардинии были спасены зоопарками. На родине их стреляют почем зря, а в зоопарках они могут размножаться. С другими животными происходит то же самое. Многие антилопы и даже хищники нашли в зоологическом саду приют. Львы хорошо живут и размножаются в зоопарках, а на воле их притесняют. Сейчас в зоопарках всех стран больше находится фламинго, чем на воле. Кроме того, чтобы любить животных и почувствовать все необычайное разнообразие форм, красок и образов их жизни, необходимо все это увидеть. Некоторые говорят, что предпочитают медведя или тигра на воле, где они так сильны и прекрасны, но я не думаю, что так просто наблюдать леопарда в природе или всегда иметь возможность поплавать по дну моря.

Животный мир прекрасен, и поэтому я больше всего ценю в зоологических садах умение показать человеку всю прелесть мира животных, редких птиц, рыб, насекомых. Конечно, научные познания, зоология, очень способствуют пониманию и любви к природе, но эта наука не так-то проста и всякому дана, а вот внешняя КРАСОТА, ВКУС, ДЕКОРАТИВНОСТЬ, ОРИГИНАЛЬНОСТЬ И «ТАИНСТВЕННОСТЬ» природы могут быть доступны всем! Конечно, умелое и хорошее содержание птиц и животных необходимо для того, чтобы они могли «процветать». Вот это самое «процветание» зверей и птиц меня и интересует больше всего в зоологических садах. Я не зоолог и не специалист и поэтому могу говорить только об общем впечатлении...

Во Франкфурте есть, например, знаменитый Exotarium, где показаны рыбы, черепахи и птицы вместе, за стеклом, на фоне растений, и вы можете наблюдать рыб и черепах, которые плавают, а на ветках сидят птицы. Когда кормят экзотических зимородков, длинношеих цапель (Anhinga), можно видеть как эти чудные птицы кидаются в воду и преследуют рыбу. Таких витрин очень больших размеров подряд штук 12, и, конечно, надо устраивать «комбинацию» воспитанников, т.к. нельзя, чтобы птица сожрала редкую рыбу или наоборот. Такие витрины я впервые увидел во Франкфурте, но теперь их стали делать во многих других городах. Очень хороши витрины с пингвинами в Базеле, где видны плавающие пингины на довольно большой глубине. Витрина в общем в три этажа, и сперва вы видите пингинов на суше, потом на краю воды, а потом в голубой воде, которые со страшной быстротой преследуют рыбу. Вообще базельский Zoo очень хороший.



«...знаменитый экзотариум, где показаны рыбы, черепахи и птицы вместе, за стеклом, на фоне растений, и вы можете наблюдать рыб и черепах, которые плавают, а на ветках сидят птицы» (Франкфурт).

В этом Зоо впервые в Европе родилась в неволе горилла. Теперь там их уже несколько семей поколений. Новый обезьяний дом выстроен полукругом, и внутри огромные витрины, за которыми живут семьи горилл, шимпанзе и орангутанов. Можно видеть огромных орангов, самцов с длиннейшей шерстью, и самок с новорожденными детенышами. Вообще коллекция обезьян исключительная! Витрина с обезьянами-носачами из Борнео, редкие лангуры, гуарацца и всевозможные цепкохвостые обезьяны. Я очень люблю витрину с Wollatten (Wolly Spider-monkey), так как эти обезьяны очень смешные и веселые. Они в Базеле очень хорошо размножаются. В Базеле и во Франкфурте зоологический сад — главная достопримечательность города. Уже заранее указаны дороги, как проехать в Зоо. Все рождения, все приобретения и болезни, происходящие в Зоо, сообщаются в газетах, и публика обычно знает по имени всех горилл и орангов. Эта полная противоположность Парижу. Во Франкфурте и Базеле город находится как бы при Зоо, а в Париже Зоо теряется в большом городе, а иностранцев куда больше интересует Лувр, Notre Dame, бесконечные выставки и рестораны, чем зоологический сад. Рекламу тут Зоо тоже не делают или делают очень мало. Это не совсем справедливо. Тут впервые начали размножаться окапи, и коллекция антилоп очень хорошая. Но, конечно, в общем наши два зоологических сада в городе — Zoo de Vincennes и Gardin des Plantes вместе далеко не так хорошо устроены, как зоологические сады в Германии, в Голландии или Англии. Даже зоологический сад в Барселоне несравненно более «модерн» и лучше устроен, чем Парижский Зоо. В Базеле кроме горилл еще размножаются индийские

носороги, что большая редкость! Устроены эти носороги замечательно. Внутри дома у них удобное помещение и бассейны, где они очень любят купаться, а в хорошую погоду у них великолепное место для прогулок. Около носорогов можно удобно сидеть на стульчиках в тени и наблюдать этих милых толстокожих. Мне кажется, что базельский Зоо — это самое приятное и уютное место во всей Швейцарии. Еще очень хороший зоологический сад в Антверпене. Он находится прямо рядом с вокзалом, но так хорошо посажены все кусты и деревья, что близость вокзала и неприятная часть города совсем не чувствуются. В Антверпене зоологический сад тоже играет огромную роль. Там, как и в Лондоне, имеется Moonlight World — т.е. дом для ночных животных. Теперь такие дома начинают делать повсюду. Впервые он был устроен в Амстердаме. Тут вы можете наблюдать всяких лори, трубказубов, древолазных дикобразов (коэнду), ящуров, схидн и т.д. Вы идете в полной темноте по коридорам, а перед вами витрины с различными животными, которые оживают только при наступлении ночи.

Эти Moonlight House'ы я страшно люблю, так как в них можно наблюдать кобальдлеаки, толстых и тонких лори — животных, которые мне доставляют невероятное удовольствие своими движениями и глазами.

Антверпенский зоологический сад, безусловно, один из самых замечательных в мире! Антверпен, Лондон, Франкфурт, Амстердам и Берлин — вот, на мой вкус, наилучшие зоологические сады. Не говорю о Зоо в San Diego, которого я не видал. Думаю, что это самый крупный и самый богатый Зоо в мире. В Америке я видел только четыре зоологических сада. Два в Нью-Йорке, один в Буффало и один в Сан-Франциско. Зоологический сад Нью-Йорка, в Бронксе, конечно, имеет невероятную коллекцию животных, но весь его «дух» меня разочаровал. Слишком много обращено внимания на «детские забавы», на поезда, разукрашенные



«...витрины с различными животными, которые оживают только при наступлении ночи» (Антверпен).



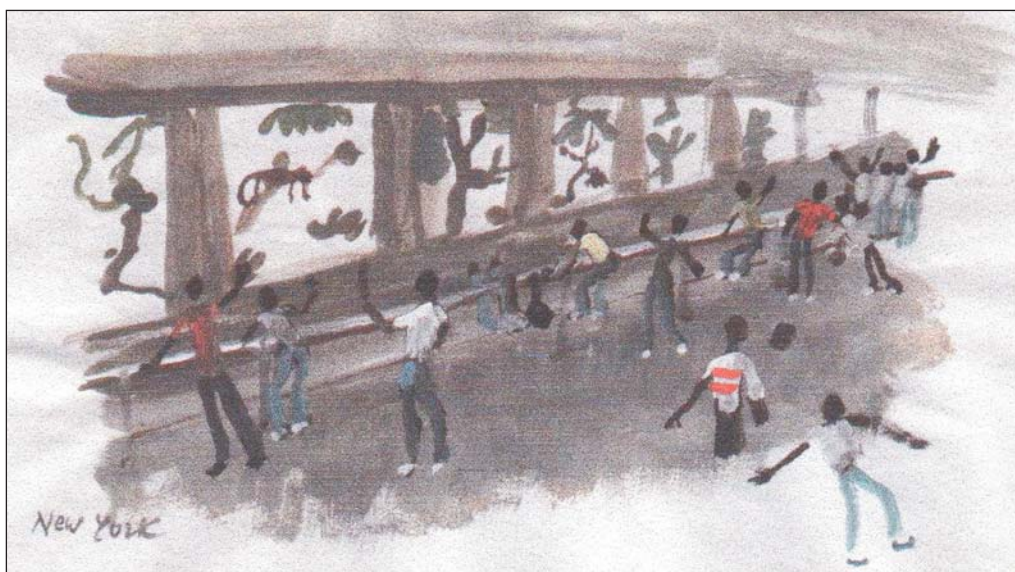
«...лори — животные, которые мне доставляют невероятное удовольствие своими движениями и глазами».

диснеевскими зверюшками, на продажу нескончаемых понатов и попкорн. Хорошие звери очень хорошо устроены в своих витринах и сильно отделены от публики. Чувствуется, что всех этих кинкажу, куэнду, фосс и сумчатых крыс надо «оберегать» от посетителей. Я это очень хорошо понял, когда увидел, как штук 30 негрят барабанили палками по металлическому барьеру и гонялись по всему помещению, где живут гориллы. Это уже зрелище само по себе, и, конечно, горилл надо оберегать. Я даже не удивился бы, если увидел бы револьверы у сторожей в зоологическом саду в Нью-Йорке, но это нет...

В Сан-Франциско можно видеть коала на эвкалиптах, но это уже заслуга климата. В аквариуме в Сан-Франциско можно видеть пресноводных амазонских дельфинов, но их можно видеть также и в отвратительнейшем городе Doisburge'e, где есть исключительно хороший зоологический сад.

В этом саду также очень хорошо показаны морские дельфины. Теперь дельфинов можно видеть повсюду, даже маленьких китов и больших белых дельфинов. Дельфины прыгают в высоту, через кольца, играют в мяч и вылезают наполовину на сушу в Whinsnade, в Ницце, в Doisburge, на Майорке, в Барселоне, в Лондоне и даже у нас в Париже. Амазонские же дельфины довольно большая редкость!

Что касается террариума и аквариума, то это особая вещь. Самый лучший аквариум, который я видел, был в Stuttgarten'e в «Wilhelma». Там огромные витрины для пресноводных, экзотических рыб, которые опять же устроены так, что вы сразу видите сушу, поверхность воды, растения и жизнь под водой. Витрины с экзотическими морскими рыбами никогда не бывают с кусочком берега, так как вся показываемая фауна на самом деле находится на довольно большой глубине. Все



«...негрятинская школа с криками восторга бежит к открытому помещению, где живут гориллы...» (Нью-Йорк).



«В аквариуме в Сан-Франциско можно видеть пресноводных амазонских дельфинов».

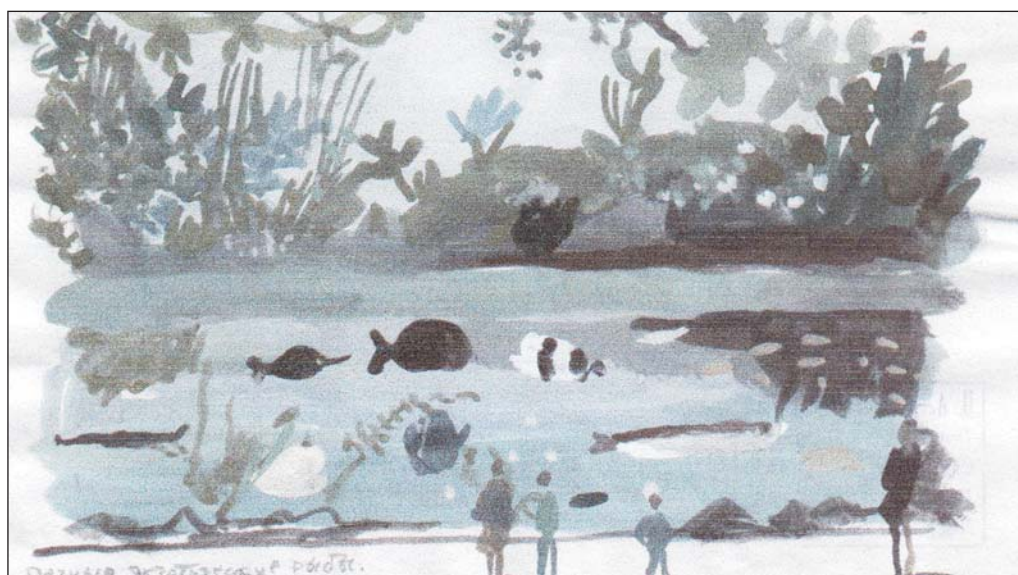
эти коралловые рыбы, морские звезды, ежи и актинии производят на меня большое впечатление! Особенно рыбы! Меня восторгает исключительно утонченный рафинированный вкус этих различных форм и окрасок. Уж никак нельзя обвинить рыб в декадентстве и в упадочности, в то же время сочетание цветов, форм и все это «выполнение» этого живого существа создано как бы для знатоков и любителей Пикассо, Дягилева, Пьора делла Франческа, Миро и т.д. — но еще получше, потоньше и к тому же еще живые. Я лично не могу оторваться от этих экзотических морских рыб.

Мои маленькие наброски гуашью стараются хоть немного иллюстрировать то, о чем я говорю. Когда я смотрю теперь на все эти новые устройства в аквариумах и в зоологических садах, мне становится печально, что всего этого еще не было, когда жили мои родители и мой друг Ватагин. Не знаю даже удалось ли Ватагину в конце концов

(увидеть) горилл? Так как мне, во всяком случае, нет! Чтобы видеть папашу, мамашу дочь и внука гориллыного семейства вместе! Или обезьян носачей из Борнео. Не знаю. Во всяком случае я всегда с нежностью вспоминаю и моего отца, и В.А.Ватагина, и многих других, которые в свое время показали мне до чего природа может быть восхитительна! Отчасти я сохранил любовь к Жюль Верну, который умел так хорошо возбудить интерес к животному, к людям, к миру и приключениям. Теперешней молодежи Жюль Верн обычно не нравится.

Конечно, зоопарк это не приключение Жюль Верна или Майн Рида, но что-то волнующее все же есть в том, что можно видеть дюжину редких обезьян, которые лазят с ветки на ветку, рожают детей и любят своих сторожей.

Этих сторожей тоже можно видеть за «витриной кухни», когда в различных мисках пригото-



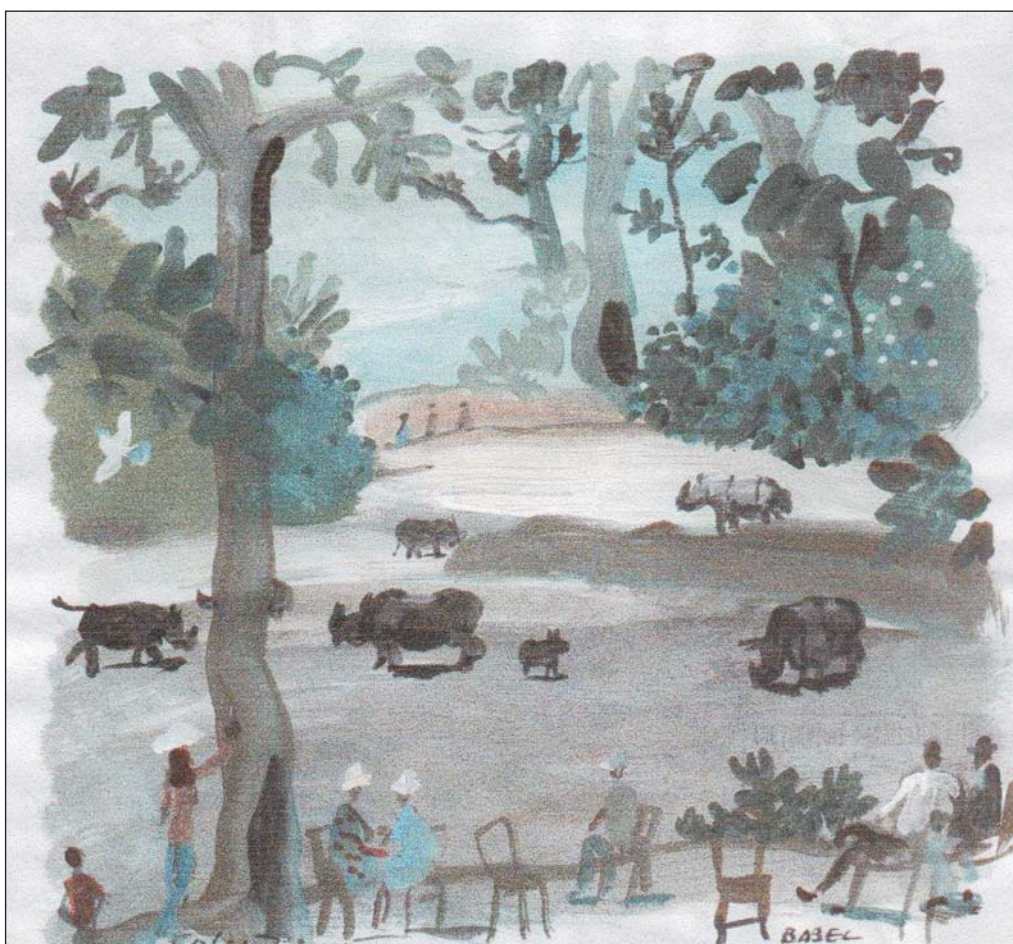
«Самый лучший аквариум, который я видел, был в Stuttgarten'е... огромные витрины для пресноводных, экзотических рыб, которые устроены так, что вы сразу видите сушу, поверхность воды, растения и жизнь под водой».



«Все эти коралловые рыбы, морские звезды, морские ежи и актинии производят на меня большое впечатление! Особенно рыбы!»



«...что-то волнующее все же есть в том, что можно видеть дюжину редких обезьян, которые лазают с ветки на ветку, рожают детей и любят своих сторожей».



«...я люблю идти к индийским носорогам и посидеть на стульчике, отдыхая и телом и душой от всяких забот!»

лены томаты, бананы, апельсины, мучные черви, каша с витаминами и горы салата. Уже сами эти «натюрморты» очень аппетитны и декоративны. Иногда сторож ловит за хвост какую-нибудь обезьяну и мажет ей мазью болячку. Обезьяна охотно дает это сделать. Правда, не все обезьяны и не всякому сторожу. Но я видел иногда очень трогательные сценки.

Вот, дорогой Колюша, пока это все, что я могу рассказать тебе о зоологических садах. В этом году летом я, в принципе, не собираюсь никуда ехать. Может быть придется поехать к Наниным

родителям во Фрайбург и тогда, конечно, мы заедем в базельский Зоо. Там я люблю пойти и к индийским носорогам и посидеть на стульчике, отдыхая телом и душой от всяких забот. Наши парижские сады не так уютны, но это не значит, что я хотел бы жить в Базеле. Конечно, там есть чудные пингвины, гориллы и носороги, но кроме того ведь есть и швейцарцы, а это дело меняет! Будь здоров, очень кланяйся Андрею и всем твоим друзьям от меня.

Твой старый друг
Олег Ц.

Н.В.ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ — О.ЦИНГЕРУ 1977 г.

Дорогой Олег.

Огромное спасибо тебе за письма! Для меня и для нескольких моих лучших друзей (в том числе в первую очередь Бататовой Барыни) большая радость получать и читать твои письма. Письмо о зоологических садах, со всеми виньетками, получил сразу после поездки по Волго-Балту. А на днях получил твое следующее письмо (с вопросом о получении зоосадного письма и получил с открыткой Prouville). Когда-то, накануне войны 1914 г., я побывал с родителями и в Перивилле и до сих пор помню грандиозные приливы и отливы.

Теперь — о твоих вопросах.

Письмо о зоологических садах получил и еще раз огромное тебе спасибо. Твое сравнительное описание стольких зоолог. садов, с упоминанием особых достопримечательностей каждого — очень интересно; если вспомнится тебе что-нибудь зоосадное — напиши еще одно письмо!

Прокатился я по Волго-Балту, бывшей Мариинской системе, по маршруту Москва—Ленинград—Москва, превосходно, хотя это уже шестая поездка по этому маршруту. Очень я люблю Северо-Западную Россию! И ехали мы хорошей маленькой компанией, со всем Никишановским семейством; Никишановы ходили на все экскурсии и осматривали все что положено. Я же сидел на палубе, смотрел на воду. В Кижях же облазил церковь 6 раз,

а в Ленинграде мы провели 3.5 часа в Русском музее и я лазил по всем лестницам, несмотря на еще не совсем здоровую ногу. Отдохнул хорошо, хотя отдыхать мне не от чего, потому что бездельничая. Про Кизи и другие северные достопримечательности русские напишу подробнее, много интересного делается сейчас по реставрации; через 3 дня после возвращения из поездки в Москву (после 10-дневной поездки по России) приезжала Наташа Кром; с ней мы провели в небольшой компании целый вечер и ужинали у Лелькиной племянницы. Наташа очень интересно поехала по России — непременно напиши ей и пригласи побывать ее в Париже, где она, «оказывается», никогда не была, хотя в Москве побывала уже 3 раза. Наташа подробно расскажет о том, какие совершать интересные туристские поездки к нам.

Андрей с Ниной всегда, когда бывают у меня или говорят со мной по телефону, передают тебе сердечные приветы (о которых я, обыкновенно, забываю написать).

Передавай мои сердечные приветы всем старым друзьям, которых встретишь или [которым] будешь писать. Есть у тебя наши фотографии? Сердечный привет тебе, крепко обнимаю, целую. Нани — целую ручку.

Бататовая Барыня, которая, как всегда, пишет это письмо, просит тебе кланяться.

Твой старый
и преданный друг

Многоликая водородная связь

Л.М.Эпштейн, Е.С.Шубина

Усилия многих поколений химиков-синтетиков были направлены на получение новых соединений за счет разрыва одних химических связей и последующего образования новых. Но не меньший интерес они проявляли к водородной связи, которая появляется не в результате синтеза, а возникает при подходящих условиях сама, как аромат у заботливо выращенного и распутившегося цветка.

Водородная связь, о которой пойдет речь, имеет глобальный характер, ее терпкий аромат буквально пронизывает всю химию. К настоящему времени учение о водородной связи представляет собой крупную главу в химической науке.

Связь слабая, но не бессильная

Отличительная черта водородной связи — сравнительно низкая ее энергия, она почти на порядок ниже энергии химической связи и занимает промежуточное положение между химическими связями и ван-дер-ваальсовыми взаимодействиями, которые удерживают молекулы в твердой или жидкой фазе (рис.1).

© Л.М.Эпштейн, Е.С.Шубина



Лина Мееровна Эпштейн (справа), доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН.

Елена Соломоновна Шубина, доктор химических наук, руководитель группы гидридов металлов того же института.

Научные интересы авторов связаны с изучением структуры и реакционной способности металлоорганических и элементоорганических соединений, межмолекулярных взаимодействий, водородных связей и молекулярной спектроскопии.

Само понятие и термин «водородная связь» ввели В.Латимер и Р.Родебуш в 1920 г., чтобы объяснить высокие температуры кипения воды, жидкого HF и некоторых других соединений. Вначале полагали, что водородная связь (H-связь) возникает в том случае, когда атом водорода в молекуле соединен с элементом, имеющим высокую отрицательность, как правило с элементом второй группы

(кислородом, азотом, фтором). Водород при этом приобретает частичный положительный заряд, благодаря чему притягивает другую молекулу, также содержащую электроотрицательный элемент. Таким образом, в образовании H-связи участвуют три атома: два электроотрицательных (А и Б) и находящийся между ними атом водорода — $B \cdots H^{\delta+} - A^{\delta-}$ (водородную связь обычно обозначают пунктир-

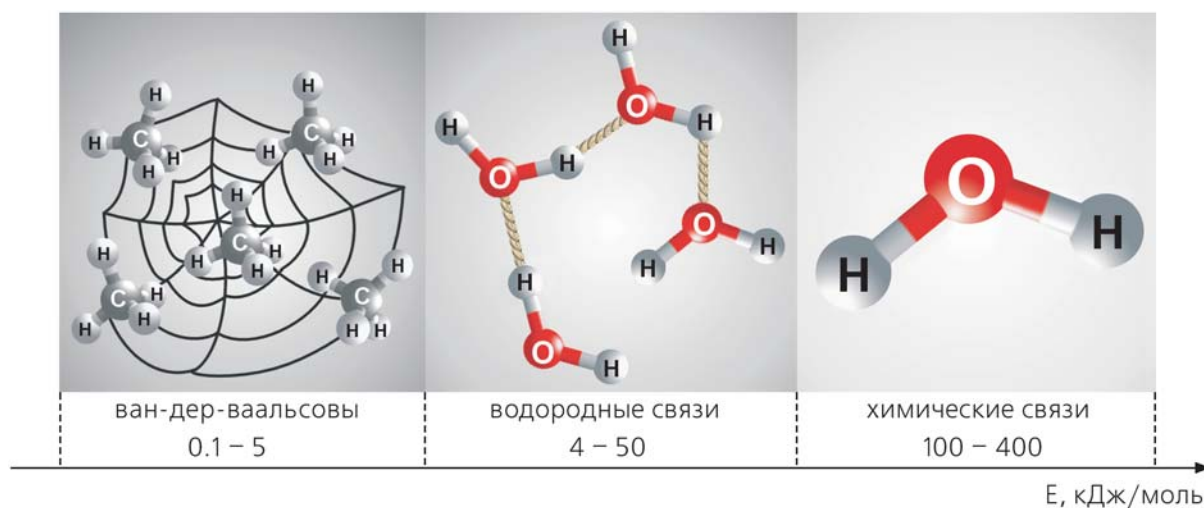


Рис. 1. Энергия трех типов связи. Видно, что энергия водородной связи много меньше, чем химической, но почти на порядок превышает энергию ван-дер-ваальсовых взаимодействий.

ной линией). Атом А условно называют донором протона, а Б — его акцептором (условно, потому что истинного «донорства» может и не быть, нередко Н остается химически связанным с А). Согласно современной точке зрения, в образовании Н-связи помимо электростатических сил большой вклад вносит поляризация партнеров и частичный перенос заряда. Иногда А и Б — атомы одного и того же элемента, например кислорода в молекуле воды.

Н-связи охватывают громадное количество разнообразных веществ, они заметно усиливают ассоциацию молекул в твердой либо жидкой фазе, что приводит соответственно к повышению температуры плавления или кипения. Расчет показывает, что если бы водородные связи не существовали, температура кипения воды была бы на 200° ниже.

Гидроксильные группы, расположенные по всей длине полимерной молекулы целлюлозы, приводят к столь мощной межмолекулярной ассоциации, что растворить этот полимер удастся лишь в довольно экзотическом высокополярном растворителе — реактиве Швейцера.

Н-связи, возникающие между карбонильными и аминогруппа-

ми $>C=O---H-N<$, формируют кристаллическую структуру полиамидов и полиуретанов, определяют также структуру белков, нуклеиновых кислот и других биологически важных молекул. В некоторых технологических процессах, скажем адсорбции и экстракции, участие водородных связей исключительно важно. Они оказывают влияние на многие химические реакции, например, их образование может предшествовать переносу протона от одной молекулы к другой.

Исследования взаимодействий элементоорганических соединений с донорами протонов открыли новую страницу в учении о водородных связях.

Как обнаружить водородную связь?

Помимо косвенных способов выявления водородной связи (повышение $t_{кип}$ и др.) существуют более конкретные и информативные методы, прежде всего спектральные, такие как инфракрасная (ИК) и ЯМР-спектроскопия.

Первый метод позволяет удовлетворить естественную потребность каждого пытливого ума подергать и пошевелить

подвижную конструкцию. При рассмотрении спектральных свойств химической связи ее можно уподобить упругой пружинке (рис.2). В любом соединении частота колебаний каждой группировки атомов зависит от их массы и упругости связывающих пружин, иными словами, от природы химической связи. Чтобы выявить Н-связь, исследователь должен выбрать группировку и вид колебаний, наиболее информативные для этой цели. Чаще всего обращают внимание на частоту валентных колебаний А–Н-связей, а также на изменение частоты колебаний группы Б.

При исследовании Н-связей информативна также ЯМР-спектроскопия. Изменение химического сдвига δ -протона и его

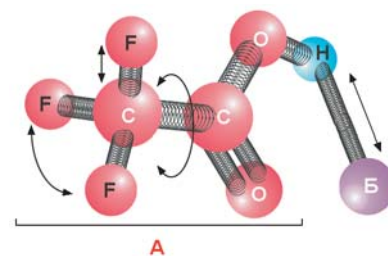


Рис.2. Модель комплекса трифторуксусной кислоты с акцептором протона.

спин-спиновое взаимодействие с соседними ядрами позволяют определить некоторые параметры этой связи.

Анализируя ИК- и ЯМР-спектры, исследователь видит отчетливый след, который оставляет Н-связь, и по его «отпечатку» может не только установить сам факт присутствия этой связи, но и количественно оценить энергетические и структурные характеристики.

Новый поворот

Планомерными исследованиями круг акцепторов протона был заметно расширен; выявлена способность некоторых элементов с пониженной, в сравнении с элементами второго периода, электроотрицательностью (например, S, P, As и др.) включаться в подобные взаимодействия. Общий признак акцепторных центров — наличие неподеленной пары электронов.

Это привело к мысли, что в образовании водородных связей можно вовлечь атомы металлов. Из общих соображений было понятно, что к образованию Н-связи в роли акцепторов протонов должны быть склонны комплексы переходных металлов. Эксперименты показали, что наиболее охотно участвуют в подобном альянсе комплексы металлов VI—VIII групп [1].

Мы выбрали сначала комплекс иридия, а в качестве донора протонов — трифторуксусную кислоту (CF₃COOH) и наблюдали за превращениями в системе при разных температурах. Индикатором превращений послужила полоса в ИК-спектрах, соответствующая колебаниям карбонильной группы С=О в трифторуксусной кислоте (рис.3). На первой стадии возникает Н-связь с атомом металла, на что указывает полоса валентных колебаний $\nu=1730\text{ см}^{-1}$ в комплексе I (та же группировка без Н-связи имеет замет-

но более высокую частоту колебаний: $\nu=1780\text{—}1800\text{ см}^{-1}$). При понижении температуры металл протонируется и образуется обычная σ -связь М–Н. Все превращения обратимы, протон как бы зажат между двумя пружинками и может передвигаться влево либо вправо в зависимости от температуры. Металлокомплекс II, принимая протон, становится катионом.

На первый взгляд комплекс II — это обычное ионное соединение (как NaCl). Однако здесь водород преподносит очередной сюрприз: перейдя к металлу, он сохраняет свою постоянную тягу к различным акцепторам. А поскольку таковой (анион кислоты) оказался рядом, образует Н-связь нового типа, «стягивающую» ионную пару. В комплексе II на это отчетливо указывает положение полосы карбоксильной группы $\nu=1700\text{ см}^{-1}$. Наблюдаемая величина выше той, которая характерна для аниона OOC^-CF_3 (1685 см^{-1}). Сдвиг указывает, что анион участвует в образовании водородной связи, но нестандартной.

Ранее мы упоминали, что выбор металлокомплексов, взятых для исследования, не был случайным. Точно так же при выборе донора протона (молекулы $\text{H}^{\delta+}\text{—A}^{\delta-}$) мы учитывали ряд факторов. Обычный спирт ROH — слабый донор, в результате реакция останавливается на стадии первичного образования Н-связи: $\text{M}\cdots\text{H}^{\delta+}\text{—A}^{\delta-}$. Сильная кислота CF₃COOH приводит к легкому переносу протона на металлокомплекс, поэтому не удастся зафиксировать некоторые промежуточные стадии (см. рис.3). Экспериментально мы смогли отыскать доноры «средней силы» — CF₃CH₂OH (трифторэтанол), (CF₃)₂CHOH (гексафторизопропанол) и некоторые другие. Такие доноры позволили превратить исследуемую систему в регулируемую, после чего можно было не только фиксировать все переходы протона, но и оценивать энергетические параметры превращений.

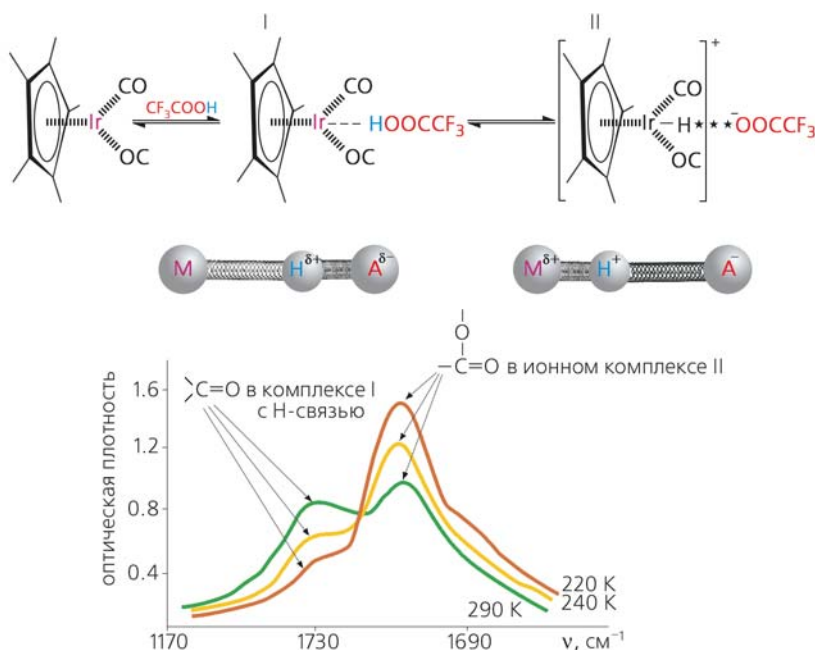


Рис.3. Схема реакции, отражающая участие иридия в образовании Н-связи, и ИК-спектры двух возникающих комплексов. В середине приведена их модель, из которой видно, что пружинка, изображающая Н-связь, длиннее той, которая соответствует обычной химической связи. Нестандартная водородная связь здесь и на следующих схемах показана звездочками.

Таким образом, в нашем распоряжении оказались три рычага, чтобы управлять механизмом перемещения водорода: особенности строения металлокомплекса, химическая природа донора протонов и температура.

Водород самодостаточен

Еще более необычные, по сравнению с только что описанными, превращения можно наблюдать в том случае, если на роль акцептора (атома В) назначить сам водород, для чего необходимо создать на нем отрицательный заряд [2]. Именно это реализуется в гидридах металлов $M^{\delta+}-H^{\delta-}$ (такой водород и называют гидридным).

В наших исследованиях комплекс рутения, содержащий гидридный водород, был способен образовывать Н-связь с донором протона $(CF_3)_2CHOH$. В результате возникал необычный диводородный мостик, где двуликий водород сам с собой организовывал Н-связь: $M^{\delta+}-H^{\delta-} \cdots H^{\delta+}-A^{\delta-}$ (рис.4). Однако то была лишь первая стадия превращений. Очевидно, что пара стоящих рядом атомов водорода $H^{\delta-} \cdots H^{\delta+}$ представляет собой заготовку для нейтральной молекулы H_2 , и, разумеется, водород не упускает предоставленной возможности. В итоге молекула перестраивается, Н-связь исчезает и возникает комплекс, содержащий новый лиганд — молекулярный водород [3]. Следить за происходящими превращениями позволяет полоса валентных колебаний карбонильного лиганда $-C=O$. Этот лиганд — удобный спектральный индикатор при переносе протона, так как исключительно чувствителен к изменениям, происходящим в молекуле металлокомплекса. Интересно, что в данном случае возникшая ионная пара также стабилизируется нестандартной Н-связью между анионом и лигандом — молекулярным водородом.

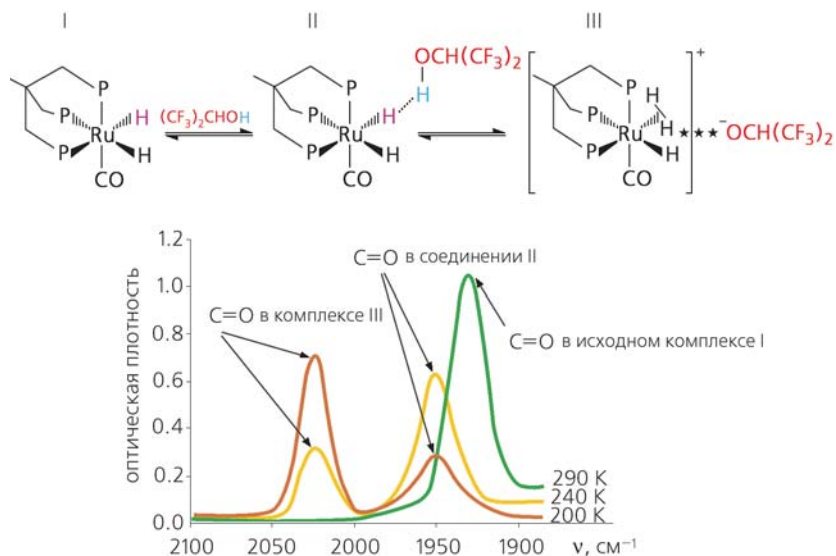


Рис.4. Возникновение, дальнейшие превращения диводородной связи и ИК-спектры комплексов рутения.

Все превращения обратимы: при низкой температуре равновесие смещено в сторону образования комплекса с молекулярным водородом, о чем свидетельствует увеличение интенсивности полосы в области 2020 см^{-1} для комплекса III; при повышении температуры равновесие сдвигается к исходному соединению, на это указывает увеличение интенсивности полосы 1920 см^{-1} исходного гидридного комплекса I. Промежуточное соединение — диводородный комплекс II (полоса 1950 см^{-1}) — в зависимости от температуры плавно переходит либо в исходное, либо в конечное соединение (полоса 2020 см^{-1}) [3].

Детально изучив межмолекулярную диводородную связь, по данным спектров ЯМР- 1H и рентгеноструктурного анализа мы установили, что расстояние $H^{\delta-} \cdots H^{\delta+}$ зависит от структуры комплекса и находится в диапазоне $1.7-1.9\text{ \AA}$. Эта величина меньше суммы ван-дер-ваальсовых радиусов двух атомов водорода (2.4 \AA), что подтверждает существование такой связи [4].

По интенсивности полос ИК-спектров мы вычислили константы равновесия для каждой

стадии, а так как константы зависят от температуры, нам удалось определить энтальпию образования каждого соединения. Для комплекса II с диводородной связью она составила 31 кДж/моль , для комплекса III с молекулярным водородом — 36.5 кДж/моль . Таким образом, необычная диводородная связь совсем не слабая, ее образование вносит значительный вклад в энергию всего процесса [5].

Можно сказать, что обсуждаемая нами связь — явление в некотором роде экзотическое, характерное для гидридных комплексов и не имеющее аналогов в органической химии.

Все существующие к настоящему времени литературные данные показывают, что водородная связь охватывает самые разнообразные превращения с участием широкого набора химических элементов [4].

Прогулки водорода по металлокомплексам

Теперь, когда мы в общих чертах познакомились с характером протона, попробуем найти логику в его поведении.

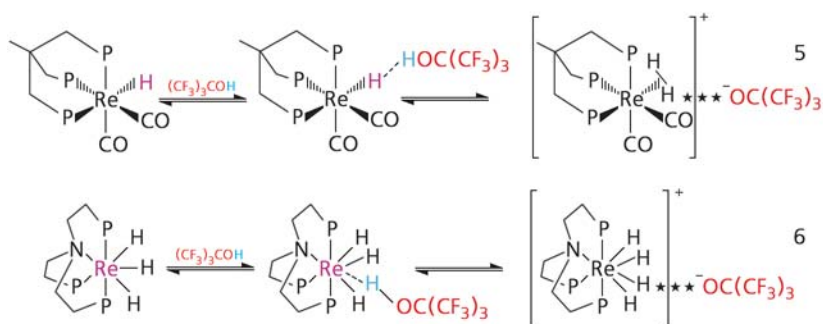
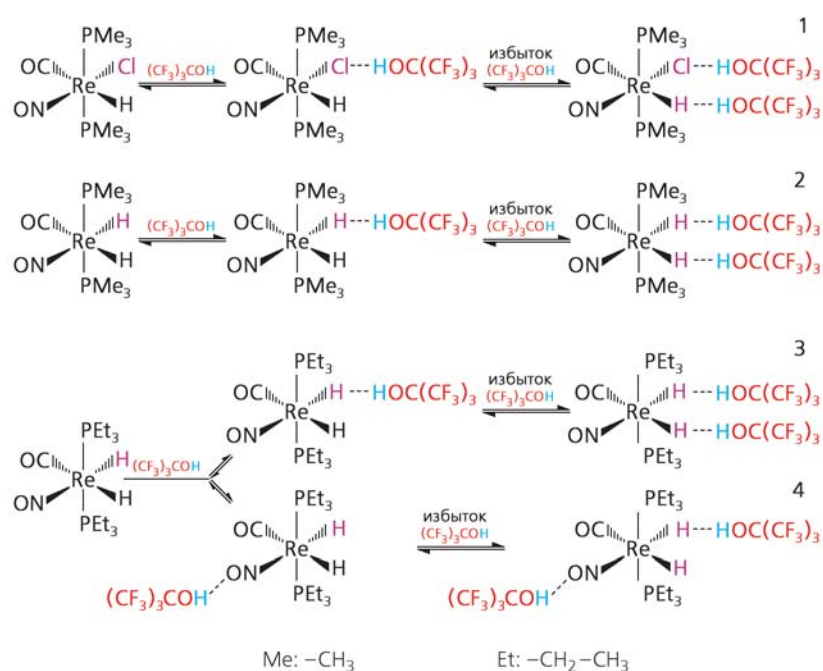


Рис.5. Влияние разных лигандов на направление реакции.

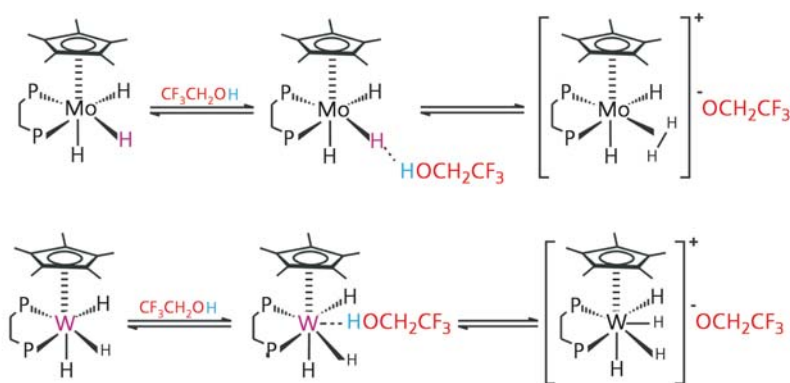


Рис.6. Влияние металла на направление реакции.

При взаимодействии с металло-комплексом, содержащим разные лиганды, непоседливый протон каждый раз решает, следует ли ему направиться в первую очередь к металлу или к лиганду, и к какому именно.

Чтобы проследить за движением протона, упростим систему, будем менять лиганды у металла, оставив неизменными сам металл и протонодonor (рис.5). Выбрав донор протона средней силы (перфтор-трет-бутанол), мы смогли зафиксировать переходные стадии [6].

Если в комплексе рения присутствует лиганд с высокой акцепторной способностью, например Cl⁻, протон в первую очередь направляется к нему (рис.5, схема 1). Затем, при избытке протонного донора, возникает диводородная связь с участием гидридного водорода. Если Cl⁻ отсутствует, два гидридных водорода один за другим образуют такую же связь (рис.5, схема 2). Теперь заменим метильные группы в фосфиновых лигандах этильными. В комплексе с такими лигандами Н-связи могут возникать как с NO, так и с одним из гидридных водородов (рис.5, схемы 3 и 4). Второй же вовлекается в образование связи лишь при избытке донора.

В рассмотренных случаях мягкий донор протона доводит реакцию до появления водородной связи. Однако с участием того же донора можно процесс провести глубже, если за счет лигандов увеличить акцепторные свойства комплекса. Тогда вначале возникают Н-связи, а при понижении температуры либо образуется комплекс с молекулярным водородом (рис.5, схема 5), либо протонируется металл (рис.5, схема 6) [7, 8].

Системой можно управлять, меняя не только лигандное окружение, но и атом металла в комплексе. Так, если это молибденовый комплекс, то он содержит гидридные водороды с довольно высокой основностью. Поэтому легко образуется диводородная

связь (рис.6). Если молибден заменить вольфрамом, имеющим большую основность, гидридные водороды не выдержат конкуренции, и предпочтительным окажется образование Н-связи с металлом (рис.6).

Перестраивание молекул, напоминающее картинку в калейдоскопе, интересно не только само по себе, оно приводит

к важным выводам. Протон — уникальный химический реагент, представляющий собой элементарную частицу, размеры которой в несколько тысяч раз меньше любого атома. Всепроникающая способность протона



превращает его в тонкий исследовательский инструмент, позволяющий изучать разнообразные химические превращения. Необходимо лишь научиться им управлять. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 99-03-33270а.

Литература

1. Shubina E.S., Belkova N.V., Epstein L.M. // J. Organomet. Chem. 1997. V.536—537. P.17—29.
2. Shubina E. S., Belkova N. V., Krylov A. N. et al. // J. Am. Chem. Soc. 1996. V.118. P.1105—1112.
3. Bakmutov V.I., Bakmutova E.V., Belkova N.V. et al. // Can. J. Chem. 2001. V.79. P.479—489.
4. Шубина Е.С., Белкова Н.В., Сайтжулова Л.Н. и др. // Известия РАН. Сер. химическая. 1998. Т.5. С.846—852.
5. Epstein L.M., Belkova N.V., Shubina E.S. Dihydrogen bonded complexes and proton transfer to hydride ligand by spectral (IR, NMR) studies // Recent advances in Hydride Chemistry. Amsterdam, 2001. P.391—418.
6. Belkova N.V., Shubina E.S., Epstein L.M. et al. // J. Organomet. Chem. 2000. V.610. P.58—70.
7. Belkova N.V., Bakmutova E.V., Shubina E.S. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2001. P.2163—2165.
8. Albinati A., Bakmutov V.I., Belkova N.V. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2002. P.1530—1539.

Метеорология

«Аллея» из вихрей над Атлантикой

6 июня 2001 г. спутник НАСА, с борта которого фотографирование земной поверхности ведется многодиапазонным спектрорадиометром, передал изображение необычной облачной системы: непрерывная череда атмосферных вихрей длиной 300 км протянулась над о.Ян-Майен (171°с.ш. 8°20′з.д.), принадлежащим Норвегии и расположенным в 650 км к северо-востоку от Исландии. Облака выглядели, как фантастическая аллея, вымощенная окатанными «бульжниками» — вихревыми образованиями, называемыми ячейками Кармана. Структуры такого рода возникают над океаном при возмущении упорядоченного потока слоисто-кучевых облаков каким-либо препятствием, в данном случае — находящимся на острове вулканом Беренберг (200 м над

ур.м.). Движение вихрей определяется направлением ветра.

Sciences et Avenir. 2002. №663. P.15 (Франция).

Космические исследования

Космонавт или робот?

Чуть ли не с самого начала космической эры ведутся споры о том, на что следует делать основную ставку — на человека или на комплекс автоматических устройств. Параллельно горячо обсуждается проблема, каким должен быть следующий шаг в исследовании Солнечной системы — возвращение людей на Луну для возобновления там научной работы или же высадка на Марс. Требуется, очевидно, некий компромисс.

Выступая на конференции по проблемам стратегии дальнейшего изучения космоса (октябрь 2002 г., Хьюстон, штат Техас), Х.Тронсон (H.Thronson), возглавляющий отдел научной

технологии НАСА, предложил создать постоянную научную базу в точке Лагранжа, находящейся примерно в 100 тыс. км от поверхности Луны, где силы тяготения Земли уравновешиваются тяготением нашего естественного спутника. Этот аванпост предполагается населить сменяющейся командой космонавтов и снабдить комплектом усовершенствованных роботов. Такая станция послужит надежной базой для полетов как на Луну, так и на Марс, она будет удобна для постоянной связи с космонавтами и автономными аппаратами, которые станут работать и там, и там. На базе возможны точнейшая настройка, калибровка и ремонт приборов, в том числе таких сложных, как космические телескопы. Для начального изучения реальности и целесообразности данного предложения НАСА выделяет из своего бюджета 5 млн долл.

Science. 2002. V.298. №5591. P.35 (США).

Вампироскоп

Парк Вакулла Спрингс — вотчина аллигаторов

Н.И.Чесноков,
*кандидат сельскохозяйственных наук
Дубна (Московская обл.)*



Аллигатор спешит к воде.

Фото Н.Борщевски

Нет сомнений, что духовное и материальное благополучие человечества зависит от разумного подхода к охране и использованию ресурсов живой природы. Охраняемые территории того или иного ранга составляют незаменимый элемент в поддержании ее девственного состояния. Один из видов таких территорий — национальные парки. Сейчас они организованы по всему миру, а первый из них возник в 1872 г. в США. Теперь там их много, некоторые приобрели мировую славу, как, например, Йеллоустонский, где многолетней кропотливой работой возвращают природе почти полностью уничтоженный бизон, Йосемитский и Гранд-Каньон, известные своеобразием и красотой ландшафтов, болотный Эверглейдс — обиталище аллигаторов. Но кроме национальных парков почти в каждом штате существуют и такие, которые созданы местными властями. Об этих парках, занимающих немалую территорию, информация скудна. Разве что в туристских путеводителях сказано, как проехать в тот или иной парк и какие услуги в нем обеспечены. А что он собой представляет и чем там занимаются, мало кому известно. Мне удалось побывать в парке Вакулла-Спрингс, о нем я и расскажу.

Расположен он в 27 км к югу от г.Таллахасси (столицы штата Флорида) и носит имя Эдварда Болла — прежнего владельца парковой территории, финансиста и ценителя природы, сберегшего свою землю и ее диких обитателей от разорения. Эта местность была издавна известна как прибежище многих видов птиц, что придавало ей важное природоохранное значение. Болл приобрел земли, на которых имелся крупный родник, в 1928 г., чтобы развить здесь туризм и в то же время сохранить природу. Вокруг родника он заложил основы будущего парка:

построил гостиницу и столовую, устроил пляж, организовал туры по реке. В его владениях не допускалась охота и рыбная ловля, действовали строгие правила охраны фауны, большая часть территории была закрыта для посещения. После смерти Болла в 1981 г. земля перешла к одному из благотворительных фондов, который передал ее штату Флорида в 1986 г. Тогда же на площади 1152 га был создан парк, увековечивший имя прежнего владельца, а в 1999 г. прирезано еще 738 га. Туризм там процветает, число посетителей достигает примерно 200 тыс. за год.

Два природных феномена определяют лицо парка — необычный родник Вакулла и аллигаторы. Родник этот уникален. Он бьет из широкого жерла диаметром около 90 м, образуя глубокий водоем, из которого берет начало Вакулла-ривер. Мощность родника в среднем составляет 36 м³ воды в секунду, а во время высокого стояния подземных вод от проливных дождей — до 176. Вакулла-Спрингс питается водами целой системы пещер и тоннелей, которые тянутся по крайней мере на 350 м и достигают 90 м в глубину. Дно родникового бассейна хранит кости вымерших животных — мастодонта, мамонта, гигантского наземного ленивца и гигантского броненосца, а также предков лошади, верблюда, тапира и др. Аквалангистами извлечен полный скелет мастодонта, который теперь в Музее истории Флориды. За уникальность родника и находки доисторических животных Вакулла-Спрингс объявлен археологическим и историческим памятником.

Температура воды в роднике круглый год постоянна — 23°C. С этим, возможно, связано его название: Вакулла в переводе с языка местных индейцев — странная вода. Между прочим, этот источник считался индейцами целительным. Испанский конкистадор, правитель о.Кубы Эрнандо де Сото, который в 1539 г. стоял лагерем под Тал-

лахасси, специально ездил к роднику испить чудодейственной воды.

Сам родник и Вакулла-ривер — привлекательное место для околородных и водоплавающих птиц. Зимой их количество возрастает за счет перелетных видов. Из местных пернатых обычны белый ибис, скопа, змеешейка, арама, голубая галлинула, орлан-белохвост. Много в парке пресноводных черепах. Но фоновый вид — аллигатор, представитель самостоятельного семейства Alligatoridae в отряде крокодилов. В семействе четыре рода, один из них — собственно аллигаторы (*Alligator*), куда входят два вида: миссисипский (*A. mississippiensis*) и китайский (*A. sinensis*). Первый обитает в Северной Америке, многочислен во Флориде, живет в болотах Эверглейдса и по речкам, впадающим в Мексиканский залив, в их числе Вакулла-ривер. Кроме Флориды аллигатор в небольшом количестве встречается на юге штата Алабама и Джорджия.

Взрослые самцы этих пресмыкающихся достигают длины 3.5—4 м и массы до 300 кг. Убитый в 1966 г. в парке аллигатор, названный Старым Джо (длиной 3.3 м, массой 260 кг), прожил, как считают, около 300 лет. Чучело Старого Джо выставлено в холле парковой гостиницы.

В мае самка аллигатора устраивает на берегу реки гнездо из растительного мусора, откладывает 30—40 яиц и укрывает их этими гниющими остатками, а сама остается поблизости, охраняя будущее потомство. После двух-трех месяцев инкубации вылупляются детеныши. Они издают тонкий писк, мать слышит его и освобождает малышей из-под мусора. Под ее защитой они добираются до воды. На этом ее заботы кончаются.

На Миссисипи, давшей видовое название аллигатору Америки, его уже нет. Долгое время рептилию нещадно истребляли ради шкуры, идущей на изготовление дамских сумочек, обуви, портфелей и других изделий.



Заболоченный лес в парке.

Здесь и далее фото автора



Взобравшись на одно бревно, рядом греются на солнышке пресноводные черепахи и аллигатор.

В 1960 г. законом штата Флорида аллигатора объявили охраняемым видом, охоту на него запретили. Но браконьеры все же добывали рептилию, а шкуры сбывали за пределами Флориды. Лишь федеральным законом о защите подвергающихся опасности истребления видов от 1969 г. был введен запрет по всей стране на торговлю и экспорт шкур редких животных,

в том числе аллигаторов. Количество их стало увеличиваться. Сейчас во Флориде вид переведен из редких в число обычных.

Многие посетители приезжают в парк Вакулла-Спрингс, чтобы увидеть аллигаторов на свободе, посмотреть на них вблизи. Поэтому здесь ежедневно проводятся туры по реке на моторных судах с хорошим обзорением. Вакулла-ривер, текущая по ни-

зинной равнине, образует на территории парка два нешироких (10–15 м) рукава, которые разделены пространством из плавающей растительности с островками болотного кипариса. Судно идет вниз по течению по одному рукаву, а возвращается по другому, и в хорошую погоду посетители могут видеть там и тут греющихся на солнышке аллигаторов. Крупные особи рядом с более мелкими лежат в траве и на берегу — на стволах упавших деревьев. Иногда вместе с этими рептилиями на одном бревне устраивается несколько черепах. Привлекают внимание и птицы: цапли, белый ибис и великое множество разнообразных зимующих здесь водоплавающих. Из местных рыбацких птиц особенно интересна змеейка, принадлежащая к одноименному семейству в отряде пеликанообразных, куда входят и баклановые. Названная так за длинную тонкую шею, она плавает под водой, выставляя наружу лишь голову. После каждого ныряния змеейка обычно просушивает перья, для чего, усевшись на сук, распускает крылья. Она вынуждена так делать потому, что в отличие от уток и гусей, смазывающих перья жиром, чтобы предотвратить их намокание, лишена жировых желез.

Относительно высокая и постоянная температура родниковой воды, питающей реку, создает аллигаторам вполне подходящие условия для активной жизни в течение всего года, даже зимой, когда воздух охлаждается до 0°. Парк Вакулла-Спрингс поистине благодатное место для этих пресмыкающихся, их насчитывается там около 400 особей, т.е. по 80 животных на 1 км реки. Кормление аллигаторов запрещено, они сами заботятся о пропитании и, похоже, преуспевают в этом, не брезгуя ничем съедобным. На зуб им попадает и рыба, и зазевавшаяся птица, и переплывающий реку енот или другое оказавшееся в воде существо. Покушаются даже на оленей, поджидая их

у водопоев. Людям запрещено приближаться к воде, а купаться разрешается только на огороженном сетью пляже.

В теплые воды парка временами заплывают ламантины. Они впервые появились здесь в августе 1997 г.: группа из пяти особей поднялась вверх по реке до родника. В следующем году их видели только в ее среднем течении. Но в декабре 2000 г. молодая самка четыре дня находилась в бассейне родника. Ламантины регулярно встречаются в реке южнее парка, а когда заходят в его воды, берутся под особо усиленную охрану как редкий вид.

В центральной парковой зоне площадью 14 га расположены гостиница, конференц-центр, кассовый павильон, причал для судов, автостоянка, пляж. Территория пронизана дорожками, украшена газонами и клумбами; здесь созданы все условия для отдыха, есть даже столы для пикников. Остальная часть парка покрыта старовозрастными сырыми лесами, на залитых водой участках растет болотный кипарис, на приподнятиях — американский дуб и длинноиглая сосна. Эти лесные площади вдоль реки фактически недоступны для посетителей и сохраняют свою первозданность, потому и привлекают ряд животных, в частности белохвостого оленя и дикую индейку.

Недавно прирезанная парку площадь сильно изменена деятельностью человека. Чтобы вернуть ей прежнюю лесную растительность, проводятся мелиоративные работы. Например, для борьбы с сорными растениями выжигают, но с особой осторожностью, небольшие участки.

Главное богатство парка — водные угодья — к несчастью, начинают страдать от засилья растения *Hydrilla verticillata*, появившегося здесь несколько лет назад. Сплошная масса гидриллы мешает рыбе и водоплавающим птицам, движению экскурсионных судов. Реку приходится чистить специальной маши-



Автор статьи с биологом Э.Скоттом возле молодой длинноиглой сосны. Этой сосной в парке собираются засадить обезлесенные площади, так как она хорошо приспособлена к песчаным почвам, ей не страшны ветры и даже пожары.

ной, которая выбирает из воды растительную массу и доставляет на берег. Район пляжа очищают вручную. Борьба с гидриллой требует много усилий и средств.

Прозрачность вод родника и его размеры, нетронутые лесные дебри, близость к крупному городу не раз привлекали в парк кинокомпании для съемок фильмов.

Парк находится в юрисдикции отдела рекреации и парков правительства штата и управляется назначенным директором. Ему подчиняются два менеджера; один ведает работой отеля и ресторана, другой отвечает за леса и водные угодья, охрану и экскурсионные туры, в его распоряжении 10 рейнджеров (охранников-экскурсоводов) и пять технических работников по обслуживанию экскурсионных судов. Кстати, и директор парка С.Кук, и ее заместитель Э.Скотт помог-

ли мне собрать материал для этой статьи, за что я им очень благодарен, равно как директору Института по изучению окружающей среды Флоридского университета Р.Хендрону, а также М.Ханхасаеву, его заместителю.

Парк Вакулла-Спрингс лишь малый островок в сложной и разветвленной системе охраны природы США. Цель природоохранной деятельности везде одна и та же: не только сохранить и приумножить фауну и флору, но и популяризировать знания о жизни диких животных, знакомить людей с интересными природными явлениями и дать возможность отдохнуть в нетронутых человеком местах. Может быть, и мы научимся в своем Отечестве совмещать «полезное с приятным», не нанося ущерба тому, что не создано человеком. Хотелось бы верить в это. ■

Чешуйчатый парашют

И.С.Ковалёв

Авиационный конструктор
Компания ABELIT Ltd.

Ришон-ле-Цион (Израиль)

Парашютный спорт — один из увлекательнейших и, пожалуй, самый рискованный вид спорта. Отражая давнюю мечту человека о свободном полете, он находится в постоянном поиске новых способов передвижения по воздуху и торможения, обеспечивающих безопасный спуск на землю. Подтверждением тому служит появление все большего числа разновидностей этого спорта, таких как прыжки с парашютом со здания, антенны, моста и с возвышенностей (BASE Jump), прыжки в костюме-крыле (wingsuit) и полет на воздушном змее (kiteboarding). Но гладкая несущая плоскость парашюта использует энергию воздушного потока очень неэффективно, что значительно сужает ее возможности и надежность самого полета. Именно поэтому парашют делают со значительной площадью купола, он плохо маневрирует, а предельно допустимая высота его раскрытия остается большой.

Однако в природе немало искусных летунов. Не может ли и здесь что-то подсказать бионика, как это не раз бывало? Всем нам хорошо известно такое насекомое, как бабочка. Некоторые представители отряда чешуекрылых — неоспоримые лидеры в мире насекомых по дальности и скорости полета. Так, бабочка-монарх (*Danaus plexippus*) совершает миграционные полеты с севера Канады

в Мексику и на Багамские о-ва на расстоянии более 4000 км. Во время полета бабочка долго парит в воздухе, эффективно используя энергию попутного ветра. Что же ей в этом помогает?

Хорошо известно, что крылья бабочек не гладкие, а покрыты чешуйками. Детально изучать строение чешуйки начали в 30-е годы прошлого столетия, когда немецкий естествоиспытатель Г.Вебер привел изображение двухслойной чешуйки, которое прочно закрепилось в различных учебниках по энтомологии. В последующих исследованиях изучение ее ультраструктуры и особенностей организации чешуйчатого покрова на крыле было продолжено с применением сканирующей электронной техники*. Оказалось, что она представляет собой сложное трехмерное образование, содержащее верхнюю и нижнюю пластины. Между ними находится воздушная полость, образованная стойками (трабекулами). Во впадинах верхней пластины между ребрышками есть перфорационные отверстия, которые соединяют окружающую среду с внутренней полостью. Размер чешуек может колебаться от 40 до 500 мкм. Для нас интересен следующий факт: если крылья аккуратно лишить чешуйчатого покрова при помощи мягкой кисточки, полет насекомого станет вялым и прямолинейным,

* Подробнее о строении чешуек см.: Ключников С.Н. За «пленкой маловидения» // Природа. 1994. №10. С.76—85.



Континентальная бабочка-монарх, совершающая длительные миграции.

а часто оно просто не сможет взлететь. Чешуйки бабочек, эволюционный возраст которых превышает 200 млн лет, — поистине уникальное творение живой природы. Они могут выполнять следующие функции [1—4]:

- придавать крылу окраску и создавать различные оптические эффекты (смену цвета, отблески, мерцание);
- обеспечивать теплоизоляцию тела бабочки, защищая его от переохлаждения;
- уменьшать вибрацию, передаваемую с машущего крыла на тело насекомого;
- снижать шум, создаваемый в машущем полете;
- увеличивать аэродинамическую силу крыла в планирующем полете;
- защищать крыло от повреждений;
- обеспечивать стекание статического электрического заряда с крыла.

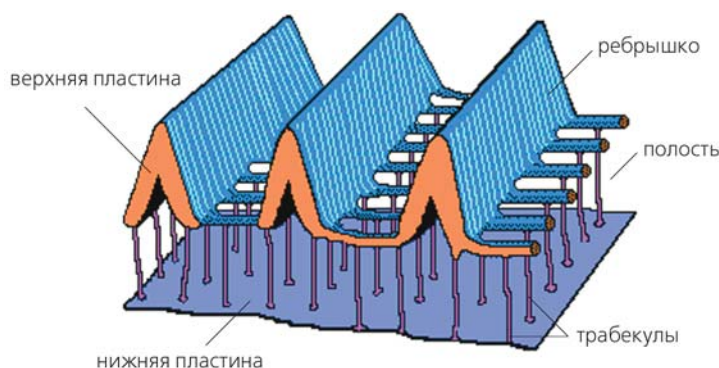
В итоге этот покров расширяет взлетные и маневренные способности чешуекрылых. Су-

дите сами: бабочки умеют молниеносно взлетать, совершать быстрые зигзагообразные или спиралевидные движения в воздушном пространстве, вызывая глубокое недоумение ученых и восторг авиаконструкторов. А если нам взять на вооружение идею такого покрытия?

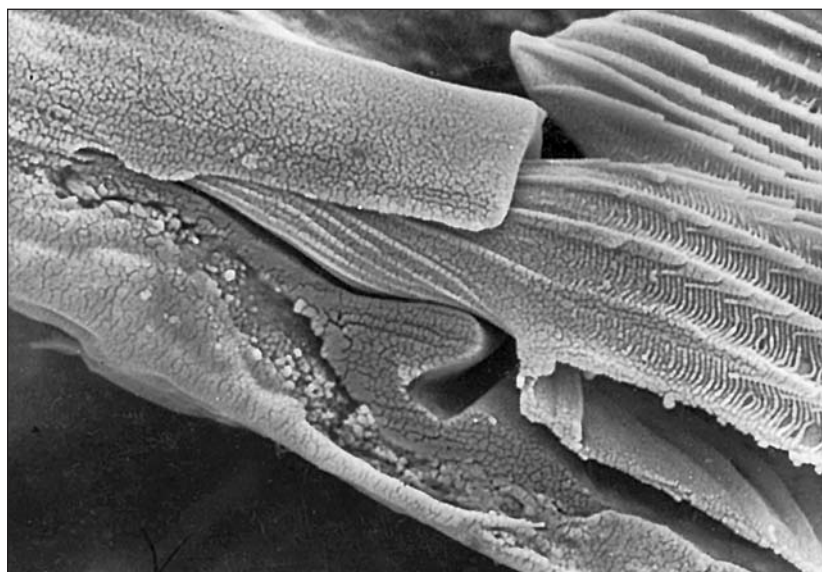
Авиационное покрытие, созданное автором (патент № 2061915) [5] по аэродинамическому и геометрическому подобию с чешуйками, было исследовано в аэродинамической трубе. Опыты показали, что оно способно решить ряд хронических проблем вертолетостроения, в частности — уменьшить вибрацию и шум винта вертолета. Но самое главное — такое покрытие создает дополнительную аэродинамическую силу, что увеличивает скорость подъема и маневренность летательного аппарата [6]. Справедливость этого утверждения неоднократно подтверждалась экспериментами, проведенными автором в аэродинамических лабораториях России (Карачаево-Черкесский политехнический институт) и Израиля. Вслед за идеей применения чешуйчатого покрова в вертолетостроении родилась мысль об его использовании на гибком куполе парашюта.

Чтобы ее проверить, была сконструирована установка в Авиационном конструкторском бюро г.Запорожья (Украина), позволяющая моделировать работу чешуйчатого и гладкого парашютов в аэродинамической трубе. В данном случае (из соображений компактной сборки купола) размеры чешуек не должны превышать 50×150 мм², а толщину покрытия следует делать не более 1–1,5 мм.

Результаты эксперимента показали, что модель парашюта с чешуйчатым покровом в момент раскрытия испытывает аэродинамическую нагрузку со стороны воздушного потока, на 25% большую, чем модель с гладкой поверхностью парашюта, а время воздействия данной нагрузки оказывается на



Строение чешуйки бабочки (поперечный разрез).



Микрофотография чешуйки крапивницы (продольный срез, увел. 4000).

Фото из архива «Природы»

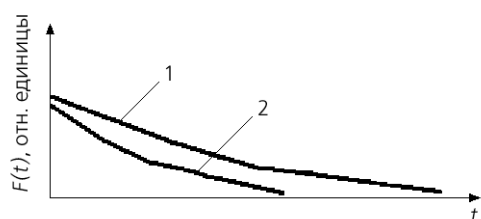
65% дольше. При установившемся (стационарном) обтекании на модель парашюта с чешуйчатым покровом действует нагрузка, на 15% большая, чем на гладкую модель.

В чем же причина возникновения у модели чешуйчатого парашюта дополнительной силы? Как известно из курса гидрогазодинамики [7], любое силовое аэродинамическое воздействие потока на тело является прямым следствием взаимодействия поверхности крыла с набегающим воздушным потоком. По этой же причине поднимаются вверх воздушный змей и парашют. Оказывается, покрытие Ковалёва

более чем в два раза увеличивает площадь контакта поверхности парашюта с окружающей воздушной средой, при этом площадь самого купола остается неизменной. В итоге чешуйчатый купол взаимодействует с большим объемом воздушного потока и получает значительно больше энергии от ветра по сравнению с таким же по площади, но неоперенным парашютом.

Более эффективное использование энергии ветра чешуйчатой поверхностью по сравнению с гладкой позволит:

- снизить предельно допустимую высоту раскрытия парашюта;



Изменение во времени t аэродинамической силы $F(t)$, действующей на модель парашюта после его раскрытия. Здесь t_0 — момент раскрытия парашюта, 1 — кривая изменения аэродинамической силы $F(t)$ для модели с чешуйчатым покровом, 2 — кривая изменения аэродинамической силы $F(t)$ для гладкой модели парашюта.



Высший пилотаж, выполняемый спортсменом на параплане.

- увеличить продолжительность прыжка на кайтбординге;
- уменьшить площадь парашюта и придать ему устойчивость;

- легче стартовать, набирать высоту, маневрировать и выполнять сложные фигуры воздушного пилотажа на параплане;

- уменьшить скорость парения спортсмена, одетого в костюм-крыло;

- сократить длину пробега самолета при посадке, использующего тормозной парашют.

Кроме того, чешуйчатый покров придаст жесткость куполу, что предохранит парашют от складывания при попадании в воздушные ямы и защитит от

повреждений при приземлении на ветки деревьев и кустарников. Поэтому можно рассчитывать, что такое покрытие сделает данный вид спорта менее опасным и сохранит жизнь кому-то из смельчаков, жаждущих острых ощущений и власти над шестым океаном.

Применение покрытия Ковалёва не только улучшит летные характеристики парашюта, но неизбежно приведет к изменению технологии его изготовления и правил пользования им, несколько повысит вес и стоимость изделия в целом. Самый дешевый и производительный метод создания покрытия — изготовление чешуек из полимер-

ных материалов с помощью экструзии (выдавливания жидкости через фильеры специальной формы); себестоимость 1 м^2 покрытия здесь не превышает 5 долл. Эти летательные аппараты правильнее будет называть лепипарашютами, лепипарапланами и лепикайтбордингами (от лат. *lepidos* — чешуя).

И под конец немного мистики. Каждый спортсмен немного суеверен, поскольку с любым прыжком связан риск. По словам мексиканских шаманов, чешуйки бабочки — это «золотая пыльца, несущая знания людям». А что больше всего придает нам уверенности в рискованном деле, как не знание? ■

Литература

1. Church N.S. // J. Exper. Biol. 1960. V.37. №1. P.186—188.
2. Ковалёв И.С., Бродский А.К. // Вестн. Санкт-Петербург. ун-та. Сер.3. 1996. Вып.3. С.3—7.
3. Nachtigall W. // Naturwissenschaften. 1965. Bd.52. Н.9. S.216 — 217.
4. Гродницкий Д.Л., Козлов М.В. // Успехи соврем. биологии. 1989. Т.107. Вып.3. С.446—457.
5. Ковалёв И. Покрытие обтекания: Патент №2061915. Россия. 1996.
6. Kovalev I., Figovsky O. // Scientific Israel — Technological Advantages. 1999. V.1. №2. P.67—71.
7. Некрасов А.И. Теория крыла в нестационарном потоке. М.; Л., 1947.

«Ходульные» деревья у озера Байкал

Б.П.Агафонов,

доктор географических наук
Институт земной коры Сибирского отделения РАН
Иркутск

Не случайно живописное побережье бухты Песчаной, расположенной в юго-западной части оз. Байкал, именуют Сибирской Ривьерой. Как и на Средиземном море, синяя гладь воды соседствует здесь с полосой отменного желтого песка, которую обрамляют залесенные склоны.

Особый колорит этому притягательному для многочисленных туристов уголку природы придают деревья, стоящие на собственных обнаженных корнях. Больше всего их на северо-востоке бухты, где когда-то было много песка, но его выдуло ветром, и образовалась ложбина, днище которой так раскаляется на солнце, что ее называют Сквородкой.

В центральной части ложбины (коридоре выдувания) до 1982 г. росло самое знаменитое «ходульное» дерево — взметнувшаяся в сторону озера сосна с романтическим названием — Олень. Фотографии этой байкальской достопримечательности, опиравшейся на землю длинными (2,5 м) висячими корнями, в свое время обошли многие научные и туристические издания.

Сейчас здесь сыпучие пески и ничего не осталось ни от сосны Олень, ни от соснового



«Ходульная» сосна Олень. 1975 г.

© Б.П.Агафонов



Бухта Песчаная с резко сужающимся за пирсами пляжем. На дальнем плане — мыс Большой Колокольный и гидрометеостанция «Бухта Песчаная».

Здесь и далее фото автора (август 2002 г.)

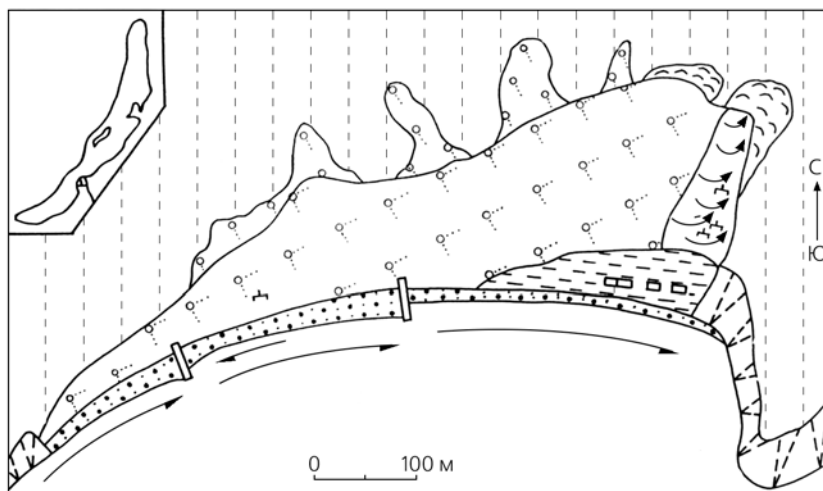


Схема эоловых геоморфологических процессов на побережье бухты Песчаной. 1 — ложбинообразный коридор выдувания песка Сквородка; 2 — залесенные поверхности, засыпанные песком; 3 — зоны ветрового сноса мелкозернистых продуктов выветривания гранитов: а — повсеместного на безлесных склонах, б — ослабленного редкостойным лесом; 4 — абразионные уступы; 5 — зона аккумуляции эолового материала на нижней части склона; 6 — залесенные пространства с незначительной аккумуляцией эоловых частиц; 7 — гравийно-песчаный пляж, откуда шквальный ветер выносит песок и в озеро, и на побережье; 8 — пирсы, дома гидрометеостанции «Бухта Песчаная»; 9 — вдольбереговое перемещение наносов; 10 — «ходульные» деревья.

с примесью лиственницы леса, который ее окружал не так давно. Почему и когда песчаный грунт вынесло на Сквородке из-под деревьев и они погибли, в то время как ни климат, ни рельеф этой местности кардинально не менялись? На этот вопрос мы попытались ответить, проведя геоморфологические исследования и сделав некоторые расчеты.

По имеющимся данным, корни сосны Олень с 1969 по 1975 г. обнажались в среднем со скоростью 27.1 мм/год. Если считать, что темп сноса песка был таким и раньше, то «ходульная» часть сосны длиной 2.5 м оголилась за 90 лет до времени ее гибели (1982), т.е. в конце XIX в. Примерно на этот период приходится интенсивные заготовки древесины на топливо для пароходов, заходивших в удобную бухту на «отстой». Число судов на Байкале и их эксплуатация к тому времени стали резко увеличиваться в связи с сооружением Транссибирской железнодорожной магистрали. Древесину использовали и для нужд

служителей маяка и гидрометеостанции «Бухта Песчаная». После вырубki значительной части лесного массива и начался интенсивный выдув песка из-под единичных деформированных деревьев, непригодных для хозяйственных нужд и потому оставленных на месте (в том числе и сосна Олень).

Интересно, что основную массу песка понесло по Сковородке не вниз, как следовало ожидать из-за срывающегося с гор шквального ветра «Горная», а вверх по крутому (25–30°) склону и за его бровку, где засыпало нижние части стволов деревьев. Песок насталился волнообразными накатами-пластами, перекрывающими друг друга. Первый был самым широким, в некоторых местах до 40–50 м, высотой во фронтальной части

0,2 м. Второй и третий более узкими, а четвертый, предпоследний, пласт шириной до 16 м, высотой до 0,5 м частично перекрыт продолжающим до сих пор формироваться накатом высотой до 0,6 м и шириной в разных местах от 3 до 10 м. В отличие от более старых пластов на значительной площади последнего еще нет растительности. Поселяющиеся здесь травы и отдельные кустарники (в основном рододендрон даурский и шиповник иглистый) часто засыпаются новыми порциями песка, и они нередко засыхают.

Сокращение ширины песчаных пластов от старых к молодым свидетельствует, что темп выноса сыпучего материала вверх по склону со временем ослабевал, а судя по их количеству, за время формирования «хо-

дудных» деревьев процесс выноса песка за бровку котловины усиливался не менее пяти раз и четыре раза стихал. Очевидно, периоды активизации приходятся на годы с большим числом сильных ветров и редкими непродолжительными дождями, а затиший — на относительно безветренные годы, когда песчаные насыпи успевали зарастать. Плотный кустарниково-травяной покров притормаживал новые порции песка во время активизации ветровой деятельности. По данным гидрометеостанции «Бухта Песчаная», семь лет подряд (1912–1918) скорости ветра 15 м/с и более отмечались здесь от 84 до 104 дней в год. А за аналогичный по длительности период (1923–1930) такие ветры возникали всего 2–9 дней в год. Можно



Сковородка — излюбленное место отдыхающих (слева). Вынесенный по коридору выдувания вверх за бровку склона песок засыпает основания деревьев.



Корни деревьев обнажены непомерным вытаптыванием и последовавшим сносом обломочного материала.

уверенно сказать, что тогда соответственно сокращался и вынос песка со Сковородки за бровку ее склона. Если когда-нибудь удастся надежно датировать наносные песчаные террасы, то их формирование должно совпасть с резко выраженными ветренными и одновременно засушливыми периодами.

В настоящее время вынос песка с пляжа в сторону Сковородки существенно сократился. Вдольбереговой подводный поток наносов, направленный с запада на восток, перегороден двумя выдвинутыми в бухту пирсами, расположенными друг от друга в 230 м. Поэтому пляж с противоположной, восточной стороны резко сужается — примерно с 25 до 9—10 м (по наблюдениям 22 августа 2002 г.).

Из-за этого уменьшилась и площадь источника песчаного материала, иногда перемещаемого сильными ветрами вверх по склону в сторону современного коридора выдувания. Задерживают этот ослабленный поток расположенные вдоль берега дома с пристройками, один из которых, стоящий в непосредственной близости от береговой линии, уже присыпан слоем песка высотой 0.5—0.7 м. В результате поток, направленный вверх по склону, подпитывается в основном самой Сковородкой, частично пополняясь песчинками, приносимыми ветром с западной части надводных склонов бухты, и еще меньше — с истощенного пирсами узкого пляжа.

В восточной части бухты Песчаной, выдвинутой в акваторию озера, с юго-запада вдоль Байкала дует ветер Кулгук. Его скорость может достигать иногда 15—20 м/с. Но основную роль в процессе выноса песка со Сковородки и его накоплении за бровкой склона играют завихрения шквальных северо-западных, реже — западных ветров Горняк или Горная (скорости до 35—40 м/с). Не случайно песка больше всего в северо-восточной части верховой Сковородки, куда направлены их воздушные струи, которым благоприятствует рельеф местности, и в особенности круто возвышающийся на 99 м над водой на пути шквального ветра прибрежный утес Большая Колокольня.

К настоящему времени из коридора выдувания (длина примерно 140 м, ширина 30 м в верхней и 60 м в нижней части склона, максимальная глубина до 3 м) удалено ветром свыше 9000 м³ песка. За бровкой склона его отложилось несколько больше, поскольку туда дополнительно выносился материал,

поступавший с прилегающих участков. Из-за преобладания выноса материала над приносом ложбина (коридор выдувания) углублялась, удлинялась и расширялась, о чем свидетельствуют продолжающиеся обнажаться корни деревьев.

Сегодня антропогенное воздействие в бухте Песчаной связано в основном не с вырубкой леса, а с вытаптыванием почвенно-растительного покрова в местах массового пребывания отдыхающих. При этом уничтожается верхний травяно-дерновый слой, а разрыхленный грунт смывается дождевыми водами и развевается ветром. Во время ураганных порывов песок и более мелкие частицы перемещаются не только вниз, но и вбок и даже вверх по склону. При этом корни деревьев обнажаются (делаясь впрочем очень красивыми), и они могут вообще погибнуть, если вслед за мелкими продуктами разрушения со склонов сползут и более крупные.

Нынешняя привлекательность бухты Песчаной (чистый теплый песок Сковородки, «ходульные» деревья, причудливо переплетенные корни на склонах и даже положительная среднегодовая температура воздуха (0.4°C) обязаны деятельности человека, вряд ли обдуманной с экологической точки зрения. Но если пустить дело на самотек, через несколько десятков лет все это великолепие может исчезнуть окончательно. Поэтому необходимо рациональное вмешательство: разработка мероприятий по сохранению этих хрупких памятников природы, регуляция потока туристов, который год от года растет. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 02-05-65244.



Не двоится ли в глазах у дельфина?

А.М.Масс

Дельфин в отличие от многих других животных, зрение которых ничуть не хуже, а у некоторых и лучше, обладает уникальной способностью — он хорошо видит и в воздухе, и в воде. Хотя вся его жизнь проходит в воде, он вынужден регулярно всплывать для дыхания. И в это время у него появляется прекрасная дополнительная возможность ориентироваться: прозрачность воздуха неизмеримо выше прозрачности воды, поэтому в воздухе можно видеть то, что расположено на расстоянии километров, тогда как в воде — лишь в нескольких метрах. Действительно, согласно многим наблюдениям, дельфин активно пользуется зрением, а с помощью специальных измерений удалось выяснить, что и под водой, и в воздухе у него вполне приличная острота зрения (8–12') [1, 2].

Универсальность зрения дельфинов — удивительное явление, ведь для качественного зрения под водой и в воздухе нужны совершенно разной конструкции глаза. Любой ныряльщик знает, если не надеть специальную маску, видно под водой очень плохо — изображения всех предметов размыты, расфокусированы. Причина



Алла Михайловна Масс, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории эволюции сенсорных систем Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН. Занимается сравнительной нейрофизиологией и нейрофизиологией зрительной системы наземных и водных млекопитающих.

проста. Оптическая система глаза человека (как и любого наземного животного) состоит из нескольких преломляющих элементов, и самый первый из них — наружная выпуклая поверхность роговицы. Находящийся позади чечевицеобразный хрусталик лишь дополняет ее. Но линза на границе между воздухом и роговицей действует потому, что у воздуха оптическая плотность намного меньше, чем у жидкости, заполняющей глаз. У воды же эта характеристика почти такая же, как у внутриглазной жидкости. Следовательно, в воде исчезает важнейший элемент оптической системы глаза, а одного хрусталика недостаточно, чтобы правильно

сфокусировать изображение на сетчатке.

Водные животные, например рыбы, хорошо видят под водой, потому что у них хрусталик намного толще и выпуклее, чем у наземных. Преломляющая способность такого хрусталика достаточна, чтобы получить хорошее изображение на сетчатке даже без преломления света на роговице. Однако животное с такими глазами не может хорошо видеть в воздухе: при этом к хрусталику добавляется еще линза на выпуклой поверхности роговицы, и преломляющая способность оптики глаза оказывается чрезмерной.

У дельфина хрусталик глаза почти шарообразной формы

© А.М.Масс

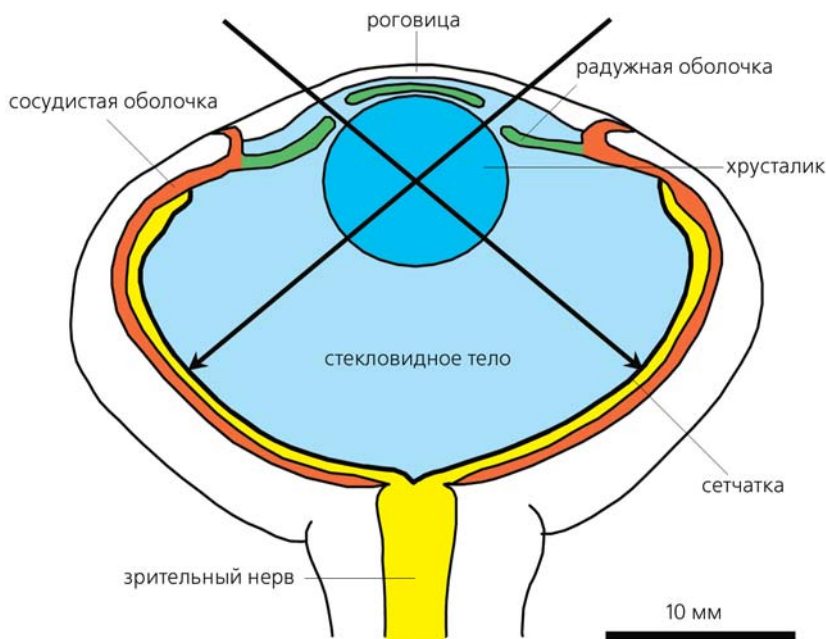


Схема строения глаза дельфина афалины. Стрелками показаны направления световых лучей, проходящих через зрачковое отверстие и центр хрусталика к зонам наилучшего видения на сетчатке.

(как у рыб), и неудивительно, что в воде его глаз работает вполне исправно. А в воздухе? Подсчитано, что если к преломляющей способности такого хрусталика добавить еще и эффект роговичной линзы, то на воздухе дельфин должен быть близорук на 20—25 диоптрий [3, 4]. Всякий, кто страдает близорукостью, знает: даже при близорукости в 5—6 диоптрий довольно трудно ориентироваться в окружающей обстановке, если, конечно, не скомпенсировать этот дефект очками. Что уж говорить о близорукости в 25 диоптрий — это настоящая катастрофа.

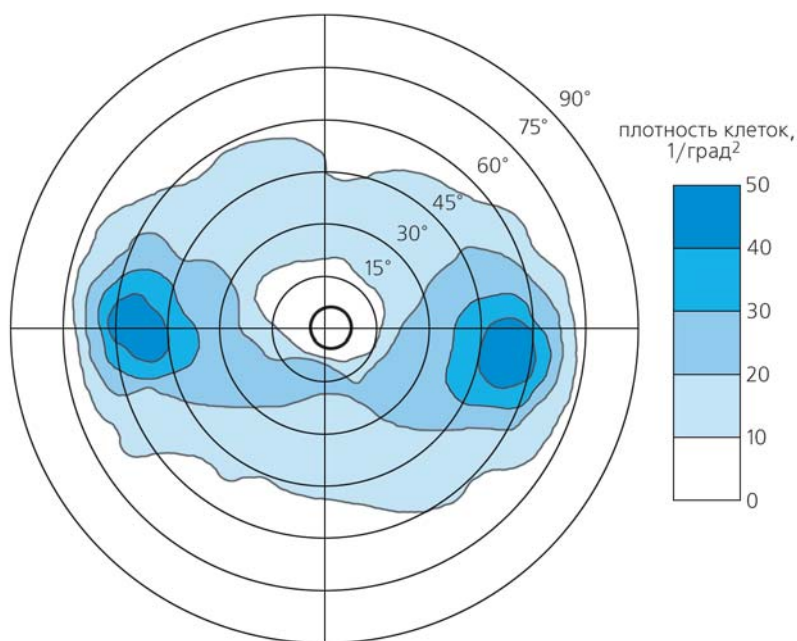
Вообще-то добиться хорошего изображения и в воздушной, и водной средах в равной мере довольно просто. Для этого поверхность, перед которой вода сменяется воздухом (или наоборот), должна быть не выпуклой, а плоской. Тогда ни при каких условиях эта поверхность не будет работать, как линза, а значит, вся остальная оптическая система глаза будет одинаково действовать и в воздухе, и под водой. Именно в этом и состоит смысл маски ныряльщика. Однако округлая, выпук-

лая форма глаза, в том числе и форма роговицы, вовсе не случайность, не прихоть природы, а необходимость для поддержания формы глаза. Глаз приобретает упругость, способность строго сохранять свою форму и размеры благодаря избыточному внутриглазному давлению, неизбежно становится выпуклой и роговица глаза. С одной стороны, роговица у дельфина должна быть плоской, с другой — это невозможно. Чтобы разобраться, как решается это противоречие, нам придется на время оставить в стороне вопросы, касающиеся оптики глаза, и обратиться к другой важной части глаза — светочувствительной оболочке, сетчатке. Оказалось, ее строение у дельфинов имеет самое прямое отношение к универсальности их зрения.

Сначала — небольшое отступление общего характера. Нам кажется, что мы хорошо, резко видим все предметы вокруг нас — и те, что расположены прямо перед нами, и те, что на периферии поля зрения. На самом деле мы четко видим лишь очень небольшой участок поля зрения — тот, куда направ-

лен наш взор. Ощущение же, что мы хорошо видим все пространство вокруг нас, создается потому, что наш взор постоянно «ощупывает», сканирует окружающее пространство. Такая особенность зрения определяется строением сетчатки глаза. Способность сетчатки различать достаточно мелкие детали зависит от того, насколько плотно расположены на ней светочувствительные клетки (рецепторы) и нервные клетки, передающие сигналы к мозгу (ганглиозные клетки). Чем реже расположены ганглиозные клетки, тем менее детален переданный в мозг образ; чем плотнее — тем точнее передача. Но ганглиозные клетки размещены по сетчатке очень неравномерно. Как правило, в центре сетчатки их плотность намного больше, чем на всей остальной, значительно большей ее площади. Поэтому те части изображения, которые оказались спроецированными на центр сетчатки, передаются в мозг очень подробно, детально, а те, что спроецированы на остальную сетчатку — довольно грубо, приблизительно. Это не недостаток, а очень полезное

Карта сетчатки дельфина (черноморской афалины), показывающая распределение плотности расположения ганглиозных клеток в разных участках (в расчете на градус угла поля зрения). Хорошо видны два пятна максимальной плотности — две зоны наилучшего видения. Числами на карте уазано расстояние от центра сетчатки.



свойство: если бы плотность клеток была максимальна по всей сетчатке, то в сотни раз увеличился бы объем передаваемой в мозг информации, в которой он бы просто захлебнулся.

Специальные области сетчатки, где ганглиозные клетки расположены особенно густо (зоны наилучшего видения), есть почти у всех животных. Именно такие области и определяют остроту зрения. Форма и расположение зон наилучшего видения у разных животных различны. У человека и обезьяны она маленькая (всего около 1° в поперечнике) и находится в центре сетчатки, причем плотность фоторецепторов и нервных клеток там огромна: таким образом достигается очень высокая острота зрения. У хищников это тоже относительно небольшая зона, но шире, чем у человека, и плотность нервных клеток там меньше, так что острота зрения у них хуже, но все же довольно высока. А у травоядных (копытных, грызунов) зона наилучшего видения имеет вид горизонтально вытянутой полоски, явно приспособленной для того, чтобы контролировать обстановку на горизон-

те. Есть и более экзотические варианты. У слона, например, зона наилучшего видения захватывает ту часть поля зрения, где находится его собственный хобот. Однако при всем этом разнообразии есть одно общее свойство: у наземных животных каждый глаз имеет одну и только одну зону наилучшего видения.

Чтобы разобраться в строении сетчатки дельфинов, нужно было изготовить специальные препараты из глаз погибших животных. Для этого вся сетчатка целиком извлекалась из глаза, расправлялась на стекле и специальным образом окрашивалась, чтобы сделать видимыми (под микроскопом, конечно) ганглиозные клетки. А затем шла кропотливая работа: шаг за шагом в каждом маленьком участке сетчатки подсчитывали количество ганглиозных клеток и по результатам таких подсчетов строили карту сетчатки (итог всей работы), на которой видно, где какая концентрация клеток.

Так обнаружилось самое главное различие между дельфинами и другими животными: у дельфинов каждый глаз имеет

не одну зону наилучшего видения, а две [2, 5]. Расположены они не в центре сетчатки, а по краям, приблизительно на одинаковом расстоянии от центра: одна зона — в передней части сетчатки (той, что ближе к носу, — назальной), другая — в задней (той, что ближе к уху, — височной). Это действительно самые настоящие зоны наилучшего видения: концентрация нервных клеток там в десятки раз выше, чем в других частях сетчатки.

Насколько нам известно, среди всех млекопитающих, у которых была исследована сетчатка (а их уже довольно много), это единственный случай, когда сетчатка имеет две зоны наилучшего видения. У всех остальных зона наилучшего видения может быть разнообразной по форме, но всегда только одна.

Какое отношение имеет такое строение сетчатки к универсальности зрения дельфина? Оказывается, самое непосредственное. Посмотрим, как две зоны наилучшего видения расположены относительно оптической системы глаза. Вспомним, что хрусталик у дельфина прак-



Так выглядит зрачок у дельфина при разных уровнях освещенности. Слева — при слабой освещенности: зрачок расширен и практически круглый. В центре — при умеренной освещенности: сверху выдвигается выступ (оперкулюм), сужающий зрачок в виде серповидной щели. Справа — при сильной освещенности: серповидная щель сомкнулась, но остались два небольших отверстия на ее концах.



Афалины и белуха (на заднем плане). При рассматривании объекта (в данном случае руки дрессировщицы) над поверхностью воды дельфины чаще всего поворачиваются к нему носом, при этом изображение проецируется на заднюю часть сетчаток обоих глаз.

тически шарообразный. Но этого мало. Сетчатка глаза тоже образует практически ровную полусферу, центр которой совпадает с центром хрусталика. Таким образом, вся оптическая система глаза симметрична относительно общего центра. Значит, свет, падающий на хрусталик независимо от направления, фокусируется на сетчатке практически одинаково [2]. Но как может попасть свет на удаленные от центра части сетчатки, где расположены зоны наилучшего видения? Чтобы попасть на заднюю часть, свет должен пройти через передний край роговицы и дальше через центр хрусталика на сетчатку. А на переднюю зону свет попадает, пройдя через задний край роговицы. Но на краях ее кривизна совсем не такая, как в центре. Края роговицы прикреплены к более толстой и жесткой белковой оболочке (склере), которая, собственно, и образует глазное яблоко. Близ места прикрепления роговица выгнута значительно меньше, чем в центральной ее части, что выяснилось в результате оптических измерений [3, 4]. Получается, что свет попадает на зоны наилучшего видения через те части, которые хотя и не совсем плоские, но имеют очень небольшую кривизну. А это именно то, что нужно для одинаковой работы глаза и под водой, и в воздухе.

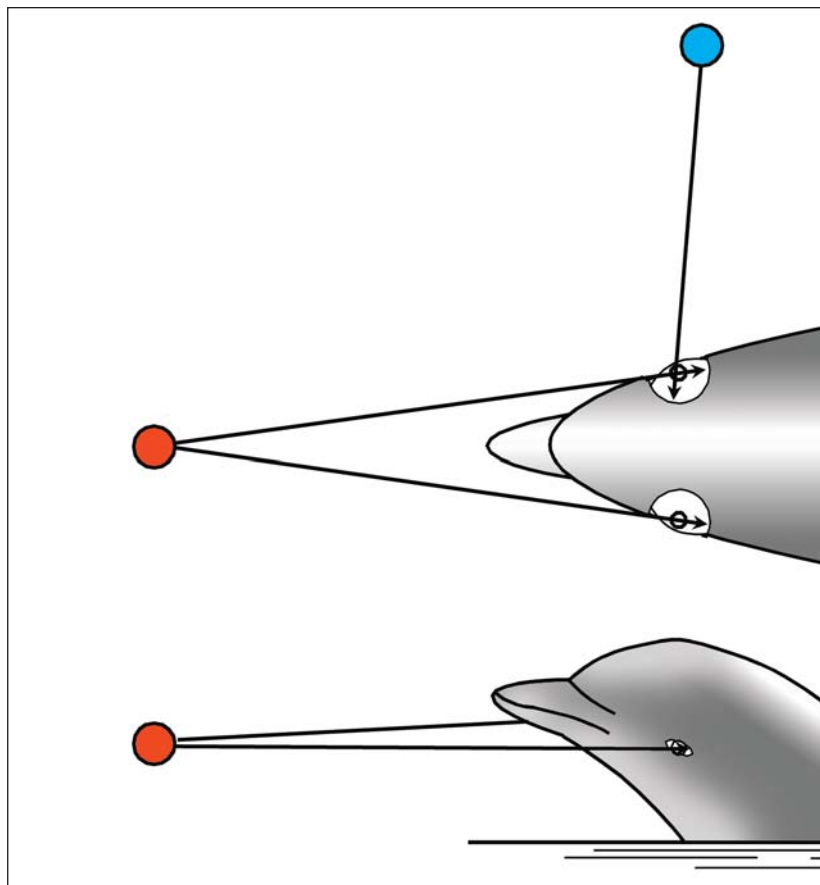
Однако поперечник шарообразного хрусталика довольно велик. Значит, свет может попасть на него через разные части роговицы: не только через уплощенный краевой участок, но и через выпуклую центральную часть. На воздухе эта часть светового пучка будет расфокусирована, и качество изображения ухудшится. Однако тут приходит на помощь еще одна особенность глаза дельфина: форма его зрачка.

У человека зрачок — круглое отверстие в центре радужки, при этом чем сильнее освещенность, тем меньше диаметр отверстия. У кошки зрачок в виде

вертикальной щели; и также — чем сильнее освещенность, тем меньше ширина щели. У других животных встречаются зрачки и прямоугольной, и треугольной формы — все зависит от того, как вмонтированы в радужку мышечные волокна, сужающие отверстие. Но у дельфина зрачок особенный. Когда увеличивается освещенность, из верхней части радужки выдвигается выступ — оперкулюм, который сужает зрачок таким образом, что он приобретает вид серповидной щели. Чем сильнее освещенность, тем уже щель. И если освещенность высокая, то щель смыкается, почти исчезает, и от нее остаются лишь два отдельных отверстия в передней и задней частях радужки. Каждое из них расположено как раз там, где световой пучок проходит через уплощенную часть роговицы, чтобы попасть на соответствующую зону наилучшего видения. При этом части светового пучка, проходящие через искривленную часть роговицы, отсекаются. Изображение на зонах наилучшего видения не размывается.

Конечно, сильное сужение зрачка, при котором он распадается на два отверстия, происходит только при достаточно ярком освещении; при слабом освещении зрачок расширяется и пропускает весь попадающий на глаз свет. Но это не беда, потому что именно над водой освещенность высока, и зрачок приобретает вид двух отверстий, что и нужно для хорошего надводного зрения. Под водой освещенность много меньше, там зрачок расширяется, и свет попадает в глаз через всю роговицу — и через ее уплощенные края, и через центральную выпуклую часть. Но это не мешает дельфину, ведь под водой нет преломления света на роговице, так что совершенно неважно, какой она формы.

Итак, удивительная способность дельфина одинаково хорошо видеть и в воде, и в воздухе обеспечивается изящной комби-



Типичные позы дельфина при рассматривании объектов над водой (красные объекты) и под водой (синий объект).

нацией нескольких необычных особенностей строения глаза: наличием в сетчатке двух зон наилучшего видения, шаровидной формой хрусталика (благодаря чему каждая из этих зон «смотрит» сквозь лежащий напротив нее слабо искривленный край роговицы) и наличием двух зрачковых отверстий, пропускающих только тот свет, который проходит через мало искривленную роговицу. Все это вместе и создает уникальную конструкцию глаза дельфина.

К тому же наличие двух зон наилучшего видения помогает дельфину решить еще одну проблему. Дело в том, что подвижность головы у него очень ограничена: из-за того, что его тело максимально приспособлено к быстрому плаванию, оно приобрело вид плотной сигары,

и голова переходит в туловище без шеи. Дельфин не может двигать головой так, чтобы осмотреть все пространство вокруг себя. Правда, его глаза очень подвижны, но все равно этого недостаточно, чтобы охватить весь горизонт (около 180° для каждого глаза). Другое дело, если в каждом глазе две зоны наилучшего видения, тогда все пространство в целом доступно для детального просматривания. Более того, при рассматривании объектов над поверхностью воды дельфин чаще всего принимает такую позу, чтобы объект оказался в передней зоне обоих глаз, т.е. проецировался на заднюю часть обеих сетчаток. А под водой дельфин обычно становится к рассматриваемому объекту боком — так, чтобы его изображение попало на переднюю

часть сетчатки, но только одного глаза. Однако и под водой он может пользоваться обеими зонами наилучшего видения, например, при движении, когда особенно важно вовремя обнаружить все, что появляется прямо по курсу.

Интересно, а не мешает ли дельфину то, что каждый глаз смотрит одновременно на две точки пространства, не раздваивается ли при этом целостная зрительная картина? Маловероятно: мозг обладает достаточными возможностями, чтобы «сшить» из отдельных фрагментов целостную картину окружающего мира.

И наконец, несколько слов о зрительных способностях разных дельфинов и других китообразных, о том, насколько хорошее у них зрение. Оказалось, что по плотности ганглиозных клеток сетчатки можно судить об остроте зрения: чем меньше среднее расстояние между соседними клетками, тем зрение острее.

Как показывают измерения, у большинства дельфинов и китов острота зрения примерно 9–11' в воде и 12–13' в воздухе [1, 2, 6, 7, 8]. Это чуть похуже, чем, например, у кошки (5–6'),

но в общем совсем неплохо. У многих наземных животных острота зрения находится примерно на том же уровне. Только у обезьян и человека острота зрения намного лучше — около 1', но это за счет того, что зона наилучшего видения сжата в очень маленькое пятнышко. Есть, однако же, и исключения. Некоторые китообразные, а именно речные дельфины, имеют намного худшую остроту зрения. Например, у амазонского речного дельфина (животное, обитающее в реках Южной Америки) острота зрения в несколько раз хуже, чем у его морских сородичей: 40–50', т.е. почти на целый градус [9]. Нужно, однако, учесть, что эти животные обитают в очень мутной, почти непрозрачной воде, в которой все равно нельзя ничего рассмотреть на расстоянии больше чем несколько десятков сантиметров. Но если рассматриваемый предмет находится на расстоянии 20–30 см, то один угловой градус соответствует величине всего лишь в полсантиметра, т.е. можно различить достаточно мелкие детали. Значит, зрение амазонского дельфина вовсе не такое уж плохое; оно просто приспособлено

к рассматриванию предметов на очень близком расстоянии.

И в заключение немаловажный вопрос: а зачем, собственно, все это нужно? Какое нам дело до того, хорошо видит дельфин или плохо? Нам бы хоть со своими собственными глазами разобраться, понять, как их сохранить и как лечить. Вот именно для этого все и нужно. Чтобы решать проблемы своего собственного зрения, важно понять, как в процессе эволюции создавалась та или иная часть, та или иная функция глаза. А сделать это можно только одним способом: изучая и сравнивая зрение у разных животных, чтобы из фрагментов воссоздать целостную картину эволюции зрительной системы. И зрение дельфинов — очень своеобразный, а потому и ценный фрагмент всей этой мозаики. А если при этом еще удастся удовлетворить законное любопытство и узнать, не двойится ли в глазах у дельфина, — тем лучше. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 95-04-11127, 98-04-48081 и 01-04-48071.

Литература

1. Herman L.M., Peacock M.F., Yunker M.P. et al. // Science. 1975. V.189. P.650–652.
2. Mass A.M., Supin A.Ya. // Brain Behav. Evol. 1995. V.45. P.257–265.
3. Dawson W.W., Schroeder J.P., Sharp S.N. // Marine Mammal Science. 1987. V.3. P.186–197.
4. Dral A.D.G. // Neth. J. Sea Res. 1972. V.5. P.510–513.
5. Mass A.M., Supin A.Ya. // Marine Mammal Science. 1999. V.15. P.351–365.
6. Mass A.M., Supin A.Ya. // Aquatic Mammals. 1997. V.23. P.17–28.
7. Supin A.Ya., Popov V.V., Mass A.M. The sensory physiology of aquatic mammals. Boston, 2001.
8. Murayama T., Somiya H. // Fisheries Science. 1998. V.64. P.27–30.
9. Mass A.M., Supin A.Y. // Aquatic Mammals. 1989. V.15. P.49–56.

Подземные опасности в Москве

А.А.Никонов

Насущные проблемы

Жители Москвы нередко задаются вопросом: ожидать ли в столице природные катаклизмы? Или: есть ли здесь особо опасные зоны? И даже — по каким улицам лучше не ходить? Вопросы возникают из-за участившихся обрушений зданий и провалов почвы. В прошлые столетия главные повреждения в Москве были связаны с бурными, но кратковременными явлениями в атмосфере (ураганами, смерчами) и гидросфере (наводнениями на Москве-реке). Город, страдавший от этих напастей в прошлом, теперь практически избавлен от них. Последнее из сильных наводнений было в 1908 г. После же зарегулирования Москвы-реки они и вовсе не предвидятся. Сейчас на первый план выходят процессы подземные, которые протекают обычно скрытно и медленно, но зато накапливаются, поражая город «точечными» ударами, застающими его врасплох.

В общем Москва, как и большая часть Европейской России, в зону природного риска не входит, хотя разрушительные ураганы или смерчи по несколько раз в столетие случаться могут. Основные опасности связаны с водой — на земле



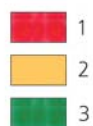
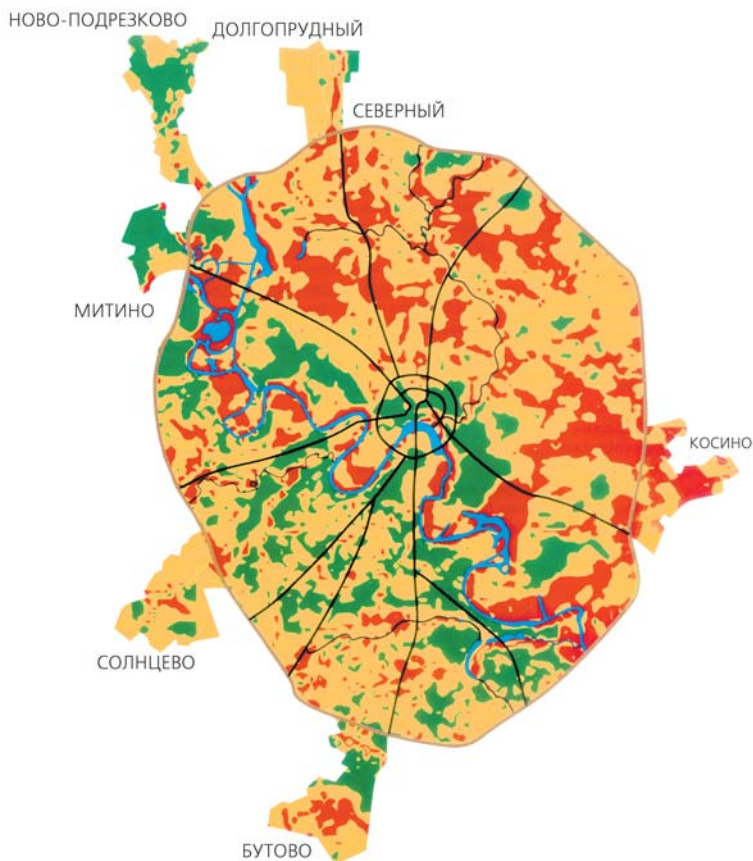
Андрей Алексеевич Никонов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли им.Г.А.Гамбурцева РАН. Область научных интересов — сейсмогеотектоника, палеосейсмичность, природные опасности. Постоянный автор «Природы».

и под землей. Теперь в заасфальтированной, забетонированной столице во время летних ливней низменные районы на многие часы становятся водоемами. Особенно опасны туннели — Таганский, Варшавский, Арбатский, Волоколамский.

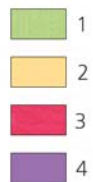
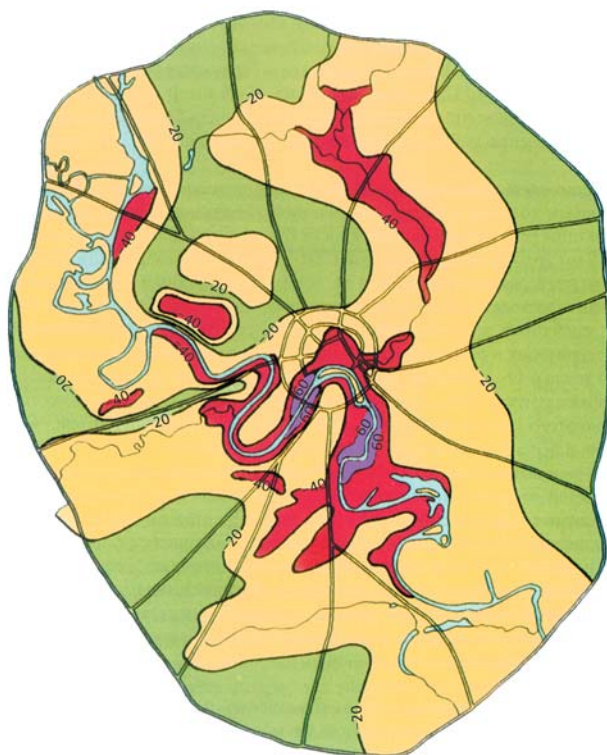
Более серьезны, поскольку долговременны, — подтопления. Естественная циркуляция поверхностных и подземных вод настолько нарушена, а искусственные коллекторы находятся в таком состоянии (до 65% изношенности), что почти на 30—40% городской территории водный уровень не опускается глубже 3 м. Системный мониторинг изменений уровня верховодки не проводится. Но все же

определенные прогнозы, причем неутешительные, существуют. Так, по данным Института экологии, в течение будущих восьми лет ожидается подтопление 89% территории в Восточном округе, более 50 — в Северо-Восточном, Юго-Восточном, Западном и более 40 — в Южном, Северном и Северо-Западном. Наиболее угрожающая ситуация складывается между Яузой и Ярославским шоссе, вдоль Щелковского, Дмитровского, Варшавского, шоссе Энтузиастов, между южным портом и Капотней, в Мневниках. В Лефортово стали подтапливаться фундаменты госпиталя им.Н.Н.Бурденко и здания Академии бронетанковых войск. Городу уже сей-

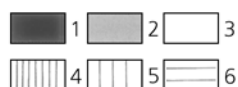
© А.А.Никонов



Карта подтопления Москвы
грунтовыми водами [9].
Цифрами обозначены территории:
1 — постоянно подтопляемые,
2 — потенциально подтопляемые,
3 — не подтопляемые.



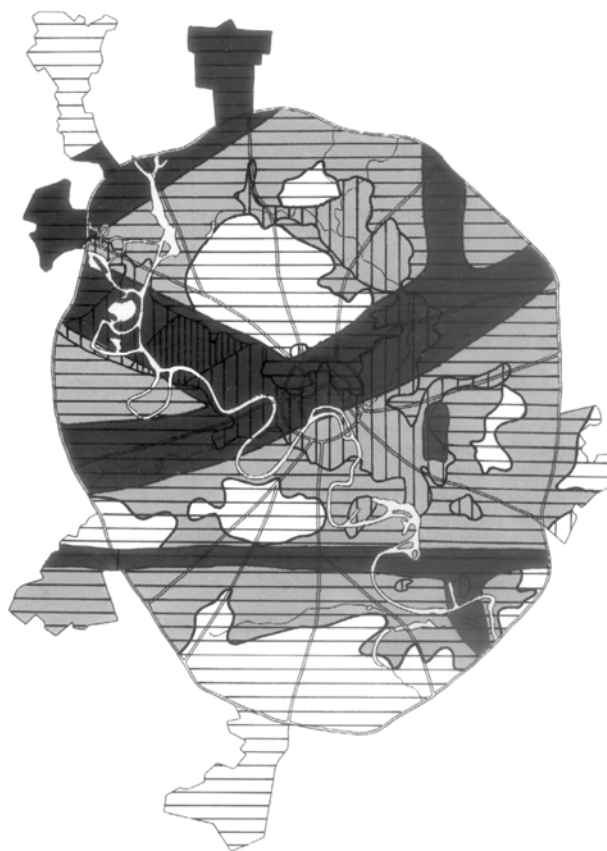
Карта оседания поверхности
в Москве (за период
1959—1973 гг.) [9].
Величина оседания (в мм):
1 — 0—20,
2 — 20—40,
3 — 40—60,
4 — более 60.



Карта карстовой и карстово-суффозионной опасности на территории Москвы [9].

Категории опасности:

1, 4 — весьма опасная,
2, 5 — опасная,
3, 6 — малоопасная.



час приходится тратить на устранение последствий 30 млн руб. ежегодно.

Кроме того, подтопление чревато такими негативными (а в отдельных случаях и аварийными) последствиями, как потеря несущей способности грунтов под сооружениями и коррозия коммуникаций. Наиболее наглядным, вызвавшим аварию и последующее нарушение жизни в центре столицы, был провал мостовой и обрушение дома на ул. Б.Дмитровка в 1998 г. Здесь внезапно (поскольку наблюдения не проводились) активизировался пльвун: произошло разжижение грунта при вскрытии котлована.

Подтопление в Москве обусловлено массовыми утечками из водонесущих коммуникаций ($4 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$), сильным изменением подземного пространства и соответственно нарушением естественных путей и режима стока вод, а также усиленным поливом улиц и таянием

снега над тепловыми магистралями в холодные месяцы. Величина инфильтрационного питания грунтовых вод, создающих подтопление, в 2–3 раза выше в городе, чем за его пределами в естественных условиях [1].

Вот давний, но вполне показательный пример. После постройки на Кремлевском холме Дворца Съездов с подземным бункером глубиной 18 м влажность деревянных свай под зданиями и соборами изменилась. Это означает, что циркуляция подземных вод на значительной части холма нарушилась. Затем последовали и провалы на территории Кремля.

Следующая группа неприятных для города природных явлений — карстовые и суффозионные процессы, протекающие в результате растворения карбонатных пород и вымывания частиц по полостям и естественным каналам. Только за последние 40 лет в столице зарегистрировано почти полсотни мест-

ных провалов, которые сопровождались выходом из строя и обрушениями жилых конструкций и коммуникаций.

Строительство подземного торгового комплекса на Манежной площади (1995–1996) спровоцировало оседания и обрушения подземных полостей в радиусе до 1.5 км. Иногда оседания сопровождалась ощутимыми толчками, о которых сообщали очевидцы и которые фиксировали приборы. На зданиях гостиниц «Москва» и «Националь», Исторического музея трещины видны невооруженным глазом.

Подобные сотрясения, вызванные обрушениями внутренних пустот в осадочных породах, известны и в других районах города. В Лефортово, на пересечении ул. Ухтомского и Госпитального вала, в 1995 г. толчки повторялись семь-восемь раз в течение 2.5 ч и вызвали панику среди населения. Наиболее многочисленны карстовые проявле-

ния в Хорошевском районе. Его жители помнят разрушения домов на ул. Куусинена, Маршала Тухачевского, Хорошевском шоссе. А ведь именно здесь расположены ТЭЦ-16, Хладокомбинат №7 и другие опасные в случае аварии производства. А не далее чем в конце марта текущего года при активном снеготаянии пришлось спешно заделывать провальные воронки на проезде Шокальского и М.Сухаревской площади.

Систематическая, в течение многих десятилетий, откачка подземных вод непосредственно «из-под брюха» Москвы привела к изменению свойств горных пород, на которых стоит город. Они оказались в состоянии неустойчивости, что привело к проседаниям, гидроразрывам на глубине и провалам. Так, на северо-западе Москвы, вдоль ул. Магистральной и Звенигородского шоссе, к середине XX в. зарегистрирована скорость опускания поверхности около 1.5 см/год. Последствием ее на две трети удалось снизить, но все равно она выше средней по городу. Район располагается над древней погребенной долиной с мощными рыхлыми отложениями вверху и зонами трещиноватости и карстообразования внизу. В этих условиях вмешательство в недра (откачка грунтовых вод и строительство метрополитена) привело к нарушению равновесия грунта. Как показал специальный анализ [2], именно в контурах погребенных долин развивается большинство городских аварий.

Провалы и оседания в Москве — явления не новые. Газета «Московские ведомости» еще в 1871 г. сообщила, что служитель одного из соборов Московского Кремля за 37 лет работы насчитал девять провалов на Кремлевском холме. Они приписывались обрушениям обветшалых сводов подвалов, сооруженных в XV—XVI вв., и сильным сотрясениям от непрерывной езды тяжелых экипажей [3]. Карстовые процессы в наши

дни, конечно, несоизмеримы с теми, что происходили в прошлом. Во-первых, за несколько столетий площадь города увеличилась на порядок, достигнув 1000 км², а во-вторых (и это основная причина), происходит массивированное и подчас не прогнозируемое (и не всегда контролируемое) внедрение в подземную среду. Основание города изрыто полостями разных величин и направлений, разной степени прочности и разной устойчивости. Часть из них подвергается регулярным вибрациям. За поверхностью вдоль действующих линий метро еще ведутся наблюдения, а поведение грунта над большинством других полостей неизвестно. И это делает ситуацию неподконтрольной.

Не менее серьезные последствия для подземных и наземных сооружений и коммуникаций несет изменение гидрогеологических параметров. Нарушение естественной миграции грунтовых и подземных вод, скопление их перед искусственными препятствиями, массовые (до 3—5, а местами до 35% водопроницаемости) водопроницаемые протечки, возрастающая агрессивность химического состава сточных вод в конечном счете ведут к ослаблению грунтов, а на определенных участках — к усилению карстово-суффозионных процессов со всеми «вытекающими» последствиями. В северо-западной части города выявлено 10 неблагоприятных участков. В целом же в Москве потенциально опасными признано около 15% территории.

На чем стоим?

С некоторых пор отдельные специалисты, а за ними и средства массовой информации пугают жителей и городские власти обнаруженными под городом крупными разломами и возможными последствиями их активизации. Какова же реальная ситуация?

Геофизики установили, что город располагается на пересечении морфологически контрастных блоков кристаллического фундамента на глубине нескольких километров, и резонно предположили, что речь идет о тектонических разломах субширотного и северо-западного простирания. Но отсюда никак не следует, что активные миллиарды лет назад разломы живут и в наше время. Москва находится вдали от основных источников (зон) геодинамической активности, и ожидать здесь концентрации напряжений сжатия или растяжения нет никаких оснований.

Сторонники теории активизации древних разломов в протерозойском фундаменте видят «свидетельства [существования] слабых подвижек, проявляющихся и в настоящее время по поверхности фундамента» [4]. При этом никаких конкретных сведений о местонахождении «подвижек», структурном положении, амплитуде смещений не приводится. Используемые методы глубинной геофизики априори не в состоянии обнаружить «слабые подвижки» ни в фундаменте, ни в чехле. Те же авторы сообщают, будто «основные зоны с проявлением карстово-суффозионных процессов в осадочном чехле хорошо коррелируют с зонами глубинных разломов земной коры, приуроченных к руслу р.Москвы». Соотносить русло реки с разломами на глубине 1.5—3 км — дело заведомо бесперспективное. То же относится и к карстово-суффозионным проявлениям, поскольку они, во-первых, имеют сугубо «точечное», а не линейное развитие, а во-вторых, распространены только в самых верхних частях осадочного чехла и ограничиваются снизу несколькими горизоннтами водонепроницаемых пород. Неудивительно, что на имеющихся картах (в том числе и упомянутых авторов) никакой связи карстово-суффозионных проявлений со структурой фундамента не обнаруживается.

Но научная проблема существует. Вопрос стоит так: есть ли свидетельства разрывов и смещений по ним в верхней части осадочного чехла под городом? Прямыми данными усиления тектонической активности в пределах территории нынешней Москвы в новейшее и в настоящее время геологи не обладают. Известно, что в пределах обширной Московской синеклизы положительных структур в палеогеновых отложениях не обнаружено [5]. Во всяком случае, основные поднятия и впадины существовали на территории Москвы уже в доледниковое время, несколько миллионов лет назад.

Детальные работы на отдельных участках Московского мегаполиса и его окрестностей действительно выявили в известняках среднего и верхнего карбона несколько типичных тектонических (вертикальных и горизонтальных) зон с признаками перемещения пород [6]. Приразломные дислокации отмечены и в перекрывающих мезозойских отложениях. Однако здесь они встречаются значительно реже и характеризуются меньшими размерами. Так, в окрестностях г. Люберцы, в субширотном раздвиге, параллельном долине р. Москвы, амплитуда смещения блоков относительно друг друга составила всего 15–20 см. Горизонтальные подвижки по развитой трещине за все последующее время оцениваются в 3,5 м.

В пределах самой Москвы известны дислокации (скорее всего, неоднократные) в виде раздвиговых трещин и их горизонтальных разрывов в Филевском парке, долине р. Сетунь, в Крылатском. Некоторые из них секут отложения московского ледникового комплекса, т.е. их возраст 150–100 тыс. лет. Несут ли они прямую угрозу городу? При всей важности обнаруженных фактов сказать этого нельзя. Во-первых, в условиях растяжения накопление в массивах горных пород напряжений (и их реализация

в виде сейсмических толчков) гораздо менее опасно, чем в условиях сжатия. Во-вторых, многие признаки свидетельствуют о медленном протекании смещений и деформаций, как бы течения масс, заполняющих трещины. Недаром в Москве за всю ее историю местные землетрясения неизвестны [7].

Большую обеспокоенность вызывают обнаруженные разрывы и складчатость в суглинках Троицко-Голенищевского оврага в долине р. Сетунь [4]. Однако и здесь нет причины считать деформации живыми. Скорее всего, они связаны с нагрузкой и разгрузкой ледникового покрова в ту отдаленную геологическую эпоху, когда его край достигал нынешней Москвы. Соответственно и активизацию таких нарушений ожидать ранее, чем наступит следующая ледниковая эпоха, нет оснований.

Другое дело, какое значение имеют выявленные нарушения для развития подповерхностных и поверхностных процессов? Взять хотя бы тот же Хорошевский район, где многократно возникали разрушения домов и провалы на тротуарах и проезжих частях улиц. Здесь, несомненно, речь идет о карстовых и суффозионных проявлениях. Активизируются они за счет возросшей практики строительства и эксплуатации, но предопределены расположением древних карстовых полостей в карбонатных и юрских породах, которые в свою очередь тяготеют к линиям древних тектонических разрывов.

Как обнаружить активную зону в городе

Примером конкретного наблюдения за деформациями зданий — памятников архитектуры может служить работа столичных инженеров-геологов Е.М.Пашкина и Д.С.Букреева [8]. Они наметили некую зону от

южного конца Гоголевского б-ра в сторону Российской государственной библиотеки и далее — вдоль ул. Моховой. Другие исследователи выделили в северо-западном направлении аналогичную зону, вдоль которой идут ул. Тверская и Ленинградский просп. Природа этих зон еще до конца не выяснена, но примечательно то, что одна из них имеет северо-восточное направление, между тем как геофизики постоянно говорят о глубинном разломе, рассекающем фундамент под городом с северо-запада.

Активизацию древних разломов в новейшее и настоящее время (если она существует) можно обнаружить и иными способами.

При сравнении данных повторного нивелирования выделена полоса повышенных градиентов скорости вертикальных перемещений [9]. Однако она никак не соответствует Павлово-Посадскому разлому в фундаменте — ни по направлению, ни по знаку. Показателем современной активности земной коры (а точнее зон проницаемости в осадочном чехле над ними) считаются гелиевые аномалии. В Подмосковье они в виде пятен обнаружены в немалом количестве, но в самой Москве их нет [10]. На нескольких участках города зафиксированы отчетливые узкие протяженные зоны радоновых emanаций, которые могут соответствовать разрывным нарушениям под чехлом мезозойских отложений [11, 12], но вызываются и другими причинами. По-видимому, они отражают область разуплотнения, трещиноватости в породах чехла и не могут служить доказательством современной тектонической активности подобных линейных структур.

Отдельные исследователи пишут о трансконтинентальных разломах, на пересечении которых стоит Москва (Кремль), о гелии, который «может привести к землетрясениям», что «из-за движения разломов рвутся

трубы и кабели» и т.д. В научной (нередко около- или псевдонаучной) литературе ссылаются на линеamentную сеть, выделяемую по космическим снимкам, на результаты геофизических работ, т.е. на методы дистанционные [13]. Нет спора, новейшие методы и технологии, в том числе и дистанционные, полезны и нужны для познания структуры земной коры. Но ведь структура, даже крупная, может оказаться давно омертвевшей, не активной в современную геологическую эпоху, а потому и не опасной. В платформенных условиях, где все геодинамические проявления слабы и плохо выражены, активные разрывы если и существуют, то изучению дистанционными способами не поддаются. Изучение тонких и малоактивных процессов необходимо, но вредна выдача громких, рассчитанных на сенсацию и в реальности вызывающих смятение и путаницу в умах неспециалистов заключений, тем более через массовую печать. Все разговоры о том, что «Москва стоит на разломах», «щит под ней, как битая тарелка», — не имеют отношения к проблеме геодинамической активности. Это, как говорят геофизики, «шумовой эффект без полезного сигнала».

Суть же в том, что древние границы блоков, древние зоны разломов в силу ослабленных связей пород могут быть флюидопроводящими и создавать анизотропную среду (служить волноводами) и тем самым определять вторичные (и даже значимые на поверхности) побочные эффекты. Вот это подлежит изучению — долгому, систематическому, скрупулезному.

Москва погружается

Старая и неослабевающая проблема в Москве, как и в любом городе такого масштаба, — оседание земной поверхности.

Пока город был одно-, двух- и даже четырехэтажным, пока

в нем ездили на санях и в каретах, а воду доставляли в бочках из Москвы-реки, об оседании поверхности не было и речи. Но уже к середине прошлого века Москва начала гнуться «под грузом лет», вернее — под собственной тяжестью. Высотное строительство, особенно в центре в послевоенные годы, создавало дополнительные нагрузки на грунт, вызывая его уплотнение. Повторные геодезические измерения это отчетливо фиксировали. Каждое крупное здание создавало под собой (и на 100—200 м вокруг) воронку оседания. При массовом строительстве отдельные воронки сливались, так что уже весь центр города стал погружаться со скоростью 1—2 мм/год. Оседание поверхности, опасное для сооружений, распространялось локально, преимущественно в пойме Москвы-реки и Яузы, на бывших заболоченных или сильно замусоренных участках. Контролировать и регулировать процесс было вполне возможно. Но дополнительно вмешалось еще одно обстоятельство: город стал добывать питьевую воду «из-под себя». Тут уже затрагивался не приповерхностный грунт на глубине нескольких десятков метров, а само основание города — каменноугольные известняки на глубине нескольких сот метров. Снижали уровень глубокие водоносные горизонты, на обширном пространстве изменяли объем и свойства четвертичные пески и супеси, юрские глины и каменноугольные трещиноватые известняки. Пошли нешуточные оседания зданий — Государственной библиотеки, Малого театра, гостиницы «Метрополь»... А еще строительство метрополитена и связанные с ним откачки воды. Свой вклад внесли и вибрации. На некоторых участках скорость оседания достигала 5—14 мм/год [8].

Городским службам пришлось приступить к мониторингу и составлять карты погружений каждые пять—восемь лет.

Полосы максимального оседания протянулись вдоль долин засыпанных мелких рек, набережных Москвы-реки. Картина оказалась достаточно пестрой, ведь действовали, как минимум, три фактора: откачка вод, прямое вмешательство в подземную среду и строительные нагрузки сверху.

Специальные работы в Москве обнаружили, что при оседании поверхности более 50 мм среднее число деформированных зданий составляло примерно 30 на 1 км² [9]. В 70—80-х годах, когда откачка подземных вод директивно ограничивалась, а строительство метро в центральных районах прекратилось, на многих участках скорость оседания значительно замедлилась.

Теперь опасности оседания подвергаются жилые районы города, возведенные на насыпных грунтах, преимущественно там, где засыпали долины рек и овраги. На таких техногенных площадях скорости оседания достигают 2—3 см/год. Что же происходит ныне, когда растет строительный бум в столице, уже не подчиненный Генеральному плану, узнают дети и внуки москвичей.

Что же дальше?

Несколько лет назад в рамках программы «Безопасность Москвы» специалисты из Института геоэкологии РАН составили серию карт природных опасностей. Участки геологического риска по подтоплению, по карстово-суффозионным и оползневым процессам занимают почти половину площади столицы.

Согласно прогнозу, дальнейшее развитие города вызовет активизацию подтопления, особенно в районах новой массовой застройки и в развивающихся промышленных зонах. В Западном, Северо-Западном, Южном и Юго-Западном округах, где широко развиты суглинистые отложения, уровень грунтовых

вод может подняться на 5–7 м. А значит, ухудшатся прочностные свойства грунтов, усилится аварийность, возрастут затраты на ремонт домов и коммуникаций, увеличится загрязнение подземной и наземной среды. Здоровье населения окажется под еще большей угрозой. А если тряхнет очередное Карпатское землетрясение (как в 1940 или 1977 г.)? Многим кварталам с высотными новостройками значительные повреждения обеспечены. Готовы ли к такому повороту население и жизнеобеспечивающие структуры?

Среди природных процессов, активизируемых антропогенной деятельностью, надо учитывать еще оползневые явления (обычно на крутых берегах Москвы-реки: на Воробьевых горах или в Филях), скопле-

ния взрывоопасного метана в подвалах домов и др.

Город будет расширяться. Расти ввысь. И углубляться в землю. Это несомненно. Вопрос в том, будут ли наши знания и инженерные решения расти и углубляться в необходимой пропорции и — заблаговременно. Сие зависит, как показывает практика, не столько от ученых, сколько от структур власти предрежащих.

Мы сознательно ограничили природными (хотя и усиленными строительно-хозяйственной деятельностью) опасностями. Как бы ни была проблема серьезна, не будем забывать, что фактор риска (гораздо более высокая смертность и низкая продолжительность жизни в столице по сравнению со средними показателями по стране) опре-

деляется опасностями другими, не природными, но созданными руками человеческими: отравленным воздухом, некачественной водой, неконтролируемыми электромагнитными излучениями, радиацией, свалками ядовитых отходов. Поэтому у столичных экологов, изучающих проблему за проблемой, дел не убавляется. Главное, как на заключение специалистов реагирует общественность. Вот характерная цитата из газеты (крупно на первой странице): «Остается надеяться, что прогнозы ученых преувеличены». Надеяться, конечно, необходимо. Но не на просчеты ученых и не на традиционное русское «авось пронесет», а только на собственное — активное и постоянное — противодействие прогнозируемым опасностям. ■

Литература

1. Орлов М.С. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1997. Т.72. Вып.5. С.18–25.
2. Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) / Отв. ред. Э.А.Лихачева, Д.А.Тимофеев. М., 2002. Т.2. С.291–640.
3. Современная летопись. Воскресные прибавления к «Московским ведомостям». 1871. №28. С.16.
4. Померанцева И.В., Солодилов Л.Н. Изучение строения и сейсмичности территории г.Москвы на основе метода разведочной сейсмологии // Геоэколог. исслед. и охрана недр. Москва и московский регион: Науч.-техн. информац. сб. 1997. Вып.3. С.44–55.
5. Устинова М.А. История геологического развития положительных структур в пределах Московской синеклизы // Общ. вопр. тектоники. Тектоника России: Мат. совещ. М., 2000. С.538–541.
6. Тимофеев Е.М. Структурно-тектонические особенности территории Москвы и Подмосковья // Природа и природ. особенности г.Москвы и Подмосковья и использ. их в народ. хоз-ве. М., 1984. С.3–11.
7. Никонов А.А. Землетрясения в столице // Природа. 1997. №9. С.76–84.
8. Пашкин Е.М., Букреев Д.С. Характер проявления линейментной активности в центральной части г. Москвы // Сергеевские чтения. М., 2002. Вып.4. С.250–254.
9. Москва. Геология и город / Под ред. В.И. Осипова и О.П. Медведева. М., 1997.
10. Иоффе А.И., Кожурин А.И. // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1997. Т.72. Вып.5. С.31–35.
11. Демин Н.В., Лыхин А.Г. Закономерности поведения радона в геоактивных зонах г.Москвы // IV Междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле». М., 1999. Т.4. С.26.
12. Макаров В.И., Бабак В.И., Бондаренко В.М. и др. Геодинамически активные зоны и их связь с радоноопасностью на юге Москвы (Чертаново) // Сергеевские чтения. М., 2002. Вып.4. С.226–230.
13. Бабак В.И., Боголюбова Н.П., Воейкова О.А. и др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2002. №2. С.112–119.

Космический корабль «Планета Земля»

С.С.Цыганков (отец), С.С.Цыганков (сын), С.С.Цыганков (внук)

Вселенная, по крайней мере ее видимая часть, представляет собой наиболее крупную структуру, включающую «конструкции» меньшего масштаба — галактические и звездные системы, определенным образом расположенные в пространстве. В свою очередь звездные системы состоят из планет и их спутников, астероидов и метеорных тел. Все эти конструкции получали свою долю материи и энергии.

В процессе эволюции каждая из них, будь то звезда, планета или маленький метеорит, структурировалась (формировалась) в соответствии со своей энергетикой, создавая и развивая (деформируя, разрушая, взрывая, перемещая, превращая) различные оболочки, выполняющие «технические» функции, обеспечивающие длительное существование космического тела.

Наша статья посвящена изучению одной из таких конструкций, наиболее важной для человечества, — космического корабля «Планета Земля».

Источники энергии

Рассмотрим процессы структурирования, когда из квазиоднородного сферического тела происходит формирование пла-



Сергей Сергеевич Цыганков (отец), один из главных конструкторов С.П.Королева, разрабатывавший в его системе строительную часть стартовых комплексов. Возглавляет ассоциацию «Содействие защите населения» и одновременно координирует научно-техническую программу «Химическая безопасность Москвы».

Сергей Сергеевич Цыганков (сын), кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института динамики геосфер РАН. Область научных интересов — фундаментальные проблемы строения Земли. Один из инициаторов подхода к Земле как к совершенной конструкции.

Сергей Сергеевич Цыганков (внук), студент пятого курса Московского инженерно-физического института, младший научный сотрудник Института космических исследований РАН. Занимается изучением компактных объектов (черных дыр и нейтронных звезд) методами рентгеновской астрономии.

© С.С.Цыганков, С.С.Цыганков,
С.С.Цыганков

неты, и начнем с энергетики — как основы жизнеобеспечения нашего корабля.

Все источники энергии подразделяются на внешние и внутренние. Главный из внешних — Солнце, которое обуславливает развитие широкого спектра процессов в атмосфере, гидросфере и биосфере ($1.7 \cdot 10^{17}$ Вт). Что касается твердой оболочки Земли, то непосредственно энергия не проникает глубже 10–20 м на суше (нейтральный слой) и 150–500 м в океанах и морях. Таким образом, солнечная радиация не может быть основной причиной возникновения внутренних геодинамических процессов, протекающих в коре и мантии. В то же время часть этой энергии тратится на дезинтеграцию кристаллических пород в самом верхнем слое коры, что в свою очередь влияет на глубинную тектоническую активность.

Следующий по значению внешний источник — солнечно-лунные приливы, мощность которых $(1–10) \cdot 10^{12}$ Вт. Несомненно, солнечно-лунные приливы не могут быть главными в процессах тектогенеза, но их воздействие в качестве спускового механизма очевидно.

И наконец — космическое излучение. Хотя его энергия на два порядка меньше приливной, влияние этого излучения на биосферу значительно. Участие же в процессах, протекающих в глубинах Земли, представляется маловероятным.

Из внутренних источников тепла большую роль играют энергии сжатия и гравитационной дифференциации Земли, однако основной их вклад был сделан на ранней стадии развития планеты. Громадная энергия заключена во вращении Земли, но в тектонических процессах участвует только часть, связанная с изменением скорости вращения, — $(1.6–9) \cdot 10^{11}$ Вт [1]. На порядок больше энергия физико-химических реакций. Максимальная же величина (еще на порядок большая) приходится

на радиационный распад. Тепловыделение только от основных радиоактивных изотопов ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Rb дает $(4–14) \cdot 10^{13}$ Вт.

Итак, анализ источников внутренней энергии показывает, что основной вклад в геодинамические процессы на протяжении большей части истории Земли вносит ядерная энергия. Образно корабль «Планета Земля» можно рассматривать как ядерный (тепловой) реактор, с распределенными по всему объему различными радиоактивными элементами, возникшими в процессе эволюции солнечной системы. За время существования этот реактор постоянно модернизировался. Часть изотопов с малыми периодами полураспада ($10^6–10^8$ лет), вклад которых на ранних этапах мог быть достаточно значительным, выгорали; другие — в процессе гравитационной дифференциации перемещались к центру планеты, обедняя тем самым внешнюю оболочку.

Термическая история Земли

Другую важнейшую роль в процессе формирования нашей планеты играло охлаждение космосом. Баланс разогрева и охлаждения расплавленной Земли определил ее поведение в течение всей истории.

Для предотвращения активной потери тепла планета покрывается твердой оболочкой, формируя естественный реактор с внутренним радиоактивным выделяющим тепло объемом и внешним твердым корпусом. Однако такой реактор крайне ненадежен, так как при ухудшении теплообмена с космосом выделяющееся тепло приводит к росту внутреннего давления и разрушению всей системы. Поэтому внешняя твердая оболочка Земли, созданная великим конструктором Природой, представляет собой сложную структуру, состоя-

щую из нескольких оболочек с различными физико-механическими свойствами, которые, послойно образуясь, деформируясь, теряя устойчивость и разрушаясь, в целом сохраняют несущую способность всего корпуса.

Рассмотрим механизм такого структурирования с момента, когда Земля представляла собой расплавленное (о чем говорит анализ энергетики ее ранней истории) тело.

Первый этап термического развития планеты характеризовался преобладанием охлаждения с поверхности, так как некоторые источники тепла (в частности, энергия гравитационной дифференциации) практически полностью исчерпались. Это привело к тому, что на расплавленной планете начался процесс кристаллизации: вокруг отдельных центров (зародышей) появились острова твердого вещества. Разрастаясь и объединяясь друг с другом, они образовали первую поликристаллическую оболочку. С этого момента берет отсчет геодинамическая история Земли: возникают два глобальных «конструкционных» элемента — внешняя твердая оболочка и внутренний жидкий объем, и включаются два физических процесса — охлаждение, вызывающее кристаллизацию с поверхности, и внутренний радиогенный разогрев.

Фазовый переход жидкость → твердое тело сопровождается усадкой, внутренний разогрев — увеличением объема. Два противоборствующих процесса создают в твердой оболочке напряжения, которые на начальном этапе носили характер растяжения, но затем картина изменилась.

При относительно малой толщине кристаллизующийся слой натягивается на внутренний жидкий объем, создавая в нем повышенное радиальное давление, которое в свою очередь вызывает растяжение твердой оболочки в тангенциальном

направлении [2]. Радиационный же разогрев на всех этапах развития способствует повышению давления во внутренней мезосфере и растяжению внешней охлаждающейся оболочки [3]. Таким образом, на данном этапе напряжения от усадки и разогрева — одного знака: в относительно тонкой оболочке создается равномерное двухосное растяжение, приводящее время от времени к ее разрушению. Через возникающие разломы, сдвигая внутреннее избыточное давление, выжимается расплавленная магма, которая, застывая, залечивает образованные «раны». Процесс этот многократный, идет по всей площади планеты, выбирая и укрепляя ослабленные зоны. В результате формируется первая твердая оболочка Земли толщиной примерно 50 км.

При дальнейшем охлаждении (движении фронта кристаллизации вглубь) начинается новый (второй) этап в развитии Земли. Присутствие первой твердой оболочки кардинально изменяет картину напряженно-деформированного состояния всего корпуса. С одной стороны,

смещение к центру планеты нижней границы внешней оболочки в процессе кристаллизации и усадки внутреннего объема приводит к ее сжатию, а с другой — сопротивляющаяся оболочка дополнительно растягивает вновь образуемый твердый слой.

Распределение тангенциальных напряжений в первой внешней ненапряженной оболочке толщиной 50 км, скрепленной с внутренним кристаллизующимся объемом, получается при совместном решении уравнений теории упругости. Предполагалось, что усадка в жидком и твердом состоянии и суммарное уменьшение удельного объема составляет 3%. Это соответствует средней величине усадки различных металлов. (При переходе магмы из жидкого состояния в твердое ее объем уменьшается на 10% [4]. Однако неизвестно, как на данную величину влияют высокие температура и давление.) При движении фронта кристаллизации вглубь происходит уменьшение радиуса планеты (опускание поверхности).

Вся внешняя оболочка представляет собой двухслойную конструкцию, верхний слой которой сжат (по отношению к литостатике), а внутренний растянут. По мере продвижения фронта кристаллизации сжимающие напряжения во внешнем твердом слое нарастают. Оболочка работает как единая конструкция, и первым критическим значением для нее будет предел устойчивости на сжатие (величина меньшая, чем прочность на сжатие).

В технике хорошо известна форма потери устойчивости при сжатии тонкостенной сферической оболочки [5], которая удивительно совпадает с фигурой Земли — геоидом. Наши расчеты показывают, что сферическая оболочка толщиной 50 км достигает предела устойчивости при кристаллизации слоя толщиной 100 км, который сам при этом дополнительно растягивается. На фазе сжатия при усадке формируется новая (внутренняя) растянутая оболочка, соответствующая современному астеносферному слою. Уменьшение в ней среднего (гидростатического) напряжения

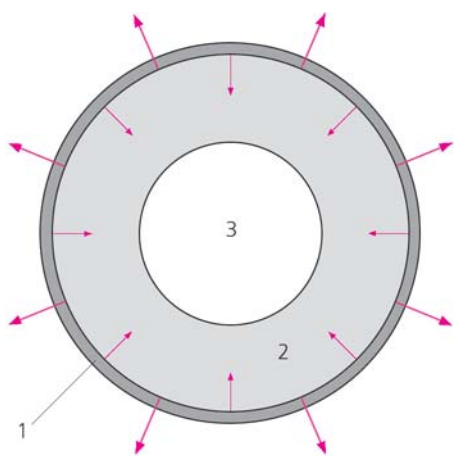
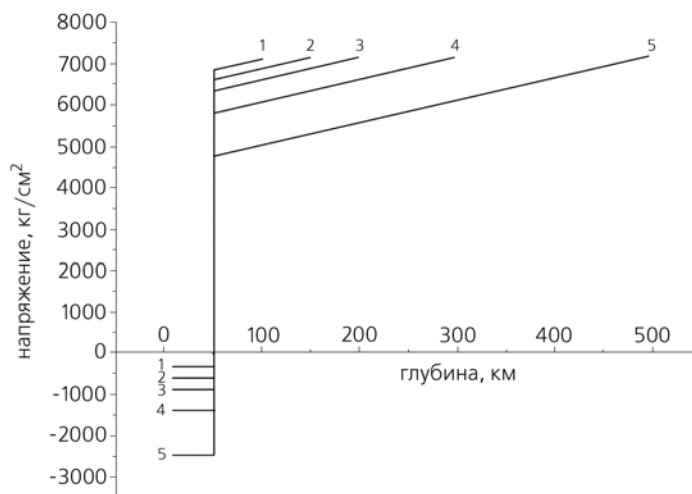
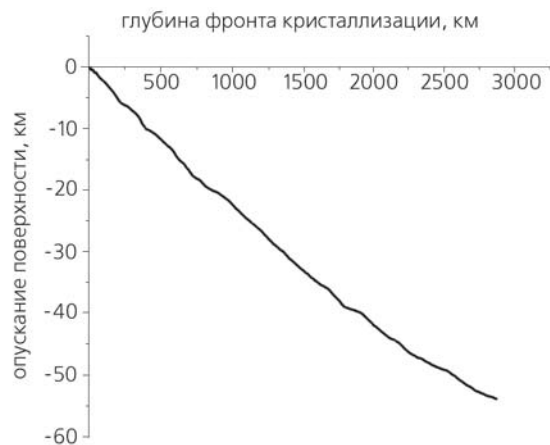


Схема нагружения сферической модели при ее охлаждении с поверхности и кристаллизации. 1 — внешний твердый слой; 2 — кристаллизующийся объем; 3 — расплавленная магма. Маленькие стрелки показывают силы, действующие на внешний слой, большие — на кристаллизующийся.



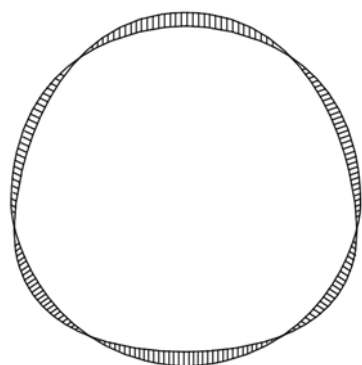
Распределение тангенциальных напряжений для всей оболочки (при наличии первой твердой оболочки толщиной 50 км) по мере движения вглубь Земли фронта кристаллизации. Глубина фронта кристаллизации, в км: 1 — 100, 2 — 150, 3 — 200, 4 — 300, 5 — 500.



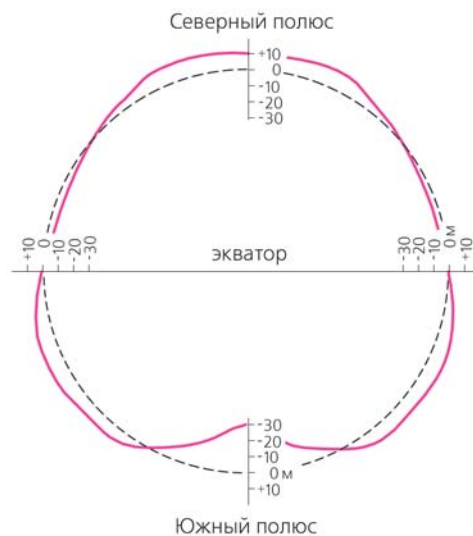
Опускание поверхности при движении фронта кристаллизации.



Разрушение поверхностного слоя Земли при усыхании глинистых пород [4].



Форма исходно сферической тонкой оболочки при потере устойчивости [5].



Высота геоида (сплошная линия) относительно сфероида со сжатием $1/298.25$ (пунктирная линия). Масштаб не выдержан.

приводит к снижению температуры плавления вещества. Выделение тепла в процессе кристаллизации и уменьшение температуры плавления приводят к частичному плавлению астеносферного слоя. С точки зрения механики упругопластического разрушения такие процессы приводят к уменьшению вязкости и хрупкости, увеличению пластических свойств, что отражается в уменьшении числа нарушений (землетрясений) на этих глубинах.

С потерей устойчивости и с соответствующим изменением формы планеты связано образование других глобальных структур Земли: континентов и океанов. В процессе потери устойчивости, идущем практически мгновенно по сравнению со временем перетекания, становится невозможным глобальный массоперенос, и количество вещества на различных фрагментах оболочки, испытывающих разнонаправленное движение, остается примерно одина-

ковым. Это приводит к изменению толщины и плотности вещества на отдельных участках планеты: опускающийся (океанический) уменьшается и уплотняется, вздымающийся (континентальный) — утолщается и соответственно разуплотняется. Однако их вес на определенной глубине остается постоянным — явление изостазии.

При потере устойчивости выделяется громадная энергия в связи с тем, что задействован практически мгновенно весь

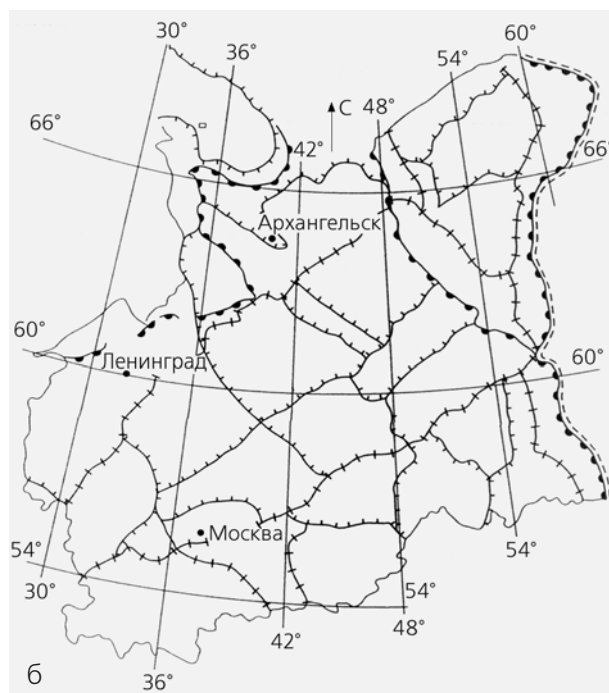
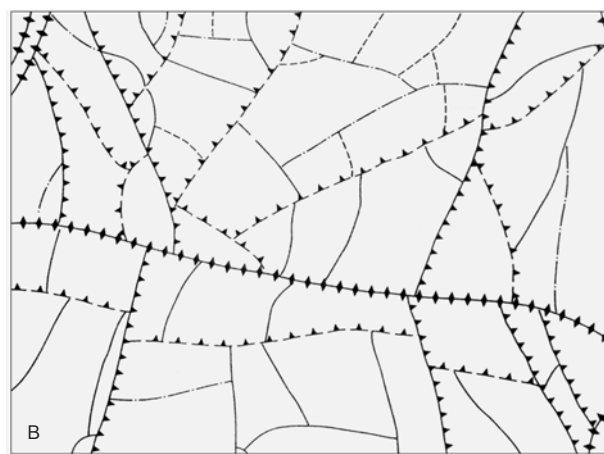
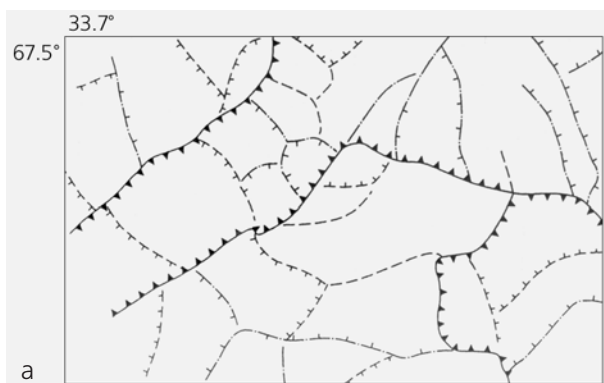


Схема блочного строения земной коры:
 а — Кольского п-ова; б — европейской части России;
 в — картина разрушения верхнего слоя
 в двухслойной модели [7].

объем оболочки. Часть энергии уходит наружу, часть внутрь, что активизирует процесс внутреннего разогрева.

На следующем (третьем) этапе формирования планеты процесс разогрева превалирует над охлаждением и приводит к растяжению всей внешней оболочки [3]. В ней в зависимости от степени однородности (отношение стандартного отклонения к средней величине) толщины или напряженного состояния могут происходить разрушения двух типов: площадные и линейные [6].

Разрушения первого типа развиваются практически одновременно по всей площади верхнего слоя (или фрагмента), разбивают его на полигональные отдельные (аналогично застывшим лавам, такырам и др.). Они типичны для областей с высокой степенью однородности толщины и напряжения.

При линейном типе разрушений развиваются одиночные трещины с последующим дроблением образовавшихся блоков. Он присущ относительно неоднородным по напряженности или прочности участкам различного масштабного уровня [7]. К этому же типу относятся и магистральные трещины, возникающие по наиболее ослабленным местам геоида и пронизывающие всю твердую оболочку. Они раскалывают континенты и океаны (рифтовые зоны) [8].

Разрушение однородных и неоднородных по прочности и напряженности оболочек моделировалось на плоских двухслойных конструкциях при их двухосном растяжении. Относительно хрупкий материал (воск, парафин, канифоль и др.), имитирующий внешнюю оболочку, наносился на упругий резиновый лист, который равномерно двухосно растягивался. При на-

грузке верхний слой разбивался на блоки различной формы и размеров.

Полученные закономерности подтвердились и в экспериментах на сферических моделях. Слой из эпоксидной смолы толщиной 1–2 мм наносился на резиновую камеру радиусом 20 см (критерий геометрического подобия соблюдался) при ее расширении (увеличении внутреннего давления). Разрушение однородной по толщине оболочки происходило одновременно и носило взрывной характер. При этом, когда давление в камере было максимально, поверхность разбивалась на мелкие полигональные блоки. Разрушения же неоднородных участков начинались при меньших давлениях и принадлежали к линейному типу. Они происходили за счет развития первичных разломов с вторичным дроблением при подкачке воздуха в камеру. Некоторые разломы характери-

зовались особенной формой — синусоидальной. Такие трещины, медленно развиваясь, стараются охватить (согласно теории Гриффитса) как можно большую площадь. Они широко распространены на Земле и на других планетах [9—11].

Процесс разрушения идет по всей планете, выбирая и цементируя ослабленные места за счет выжимания внутреннего вещества через образовавшиеся трещины. При этом создается новая равнопрочная ненапряженная (внутреннее давление сброшено, а движение фронта усадки еще не началось) оболочка — конструкция большей толщины.

Рассмотрим подробнее динамику разрушения всей твердой оболочки на стадии ее растяжения. При охлаждении и кристаллизации увеличивается толщина твердой оболочки, а следовательно, и ее прочность. Одновременно растет внутреннее давление. По достижении им значения прочности оболочка разрушается. При этом ее прочность нарушается, что облегчает движение (вынос) внут-

реннего горячего вещества к поверхности. Происходит сброс избыточного внутреннего давления. Активизируется процесс охлаждения, и готовится следующий этап движения фронта кристаллизации в глубину. Во всей внешней оболочке (так же как и на предыдущем этапе, а в более общем случае, на стадии движения фронта усадки) возникают тангенциальные напряжения, дополнительно сжимающие верхний слой и растягивающие кристаллизующийся.

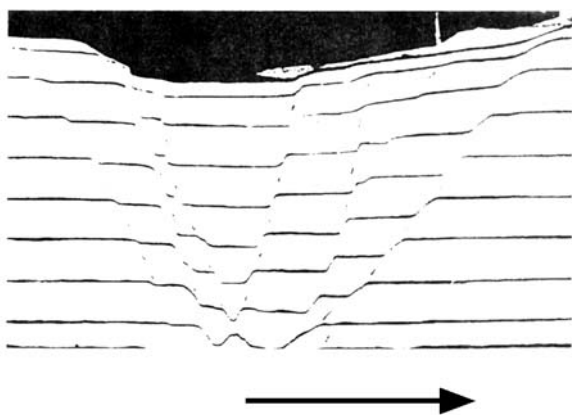
По достижении сжимающими напряжениями критических значений теряется устойчивость. При этом происходит оконтуривание границ оболочек — потерявшей устойчивость при сжатии и вновь образованной ниже лежащей растянутой («астеносферной»). Таким образом, оболочки формируются благодаря циклически повторяющимся процессам — потери устойчивости при кристаллизации и усадке внутреннего вещества.

На фотографии хондры (маленького каменного метеорита), которая похожа на «крохотную модель» Земли размером

в 20 мм, хорошо видно простейшее оболочечное строение.

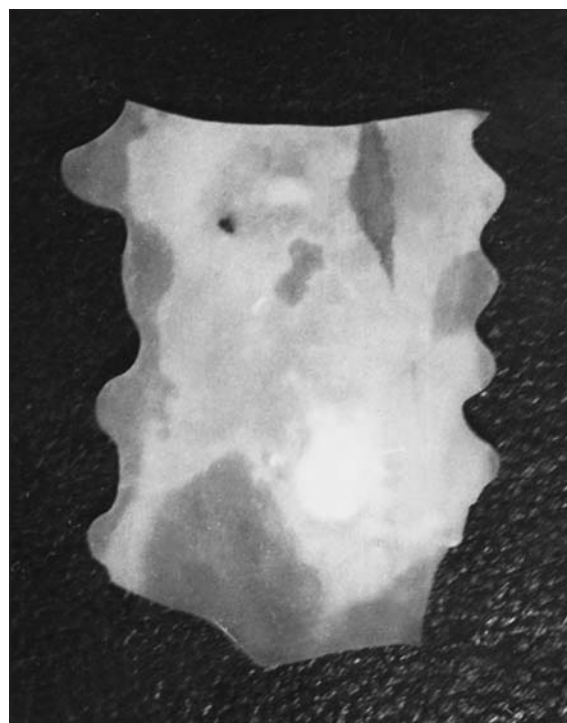
Изучение процессов потери устойчивости и разрушения поверхностного слоя при усадке проводилось методом физического моделирования на резиновых сферах радиусом 20 см, покрытых вязкоупругим материалом (жидким стеклом с наполнителем — алюминиевой пудрой) толщиной 1.5 мм. При стравливании воздуха из камеры верхний слой оказывался под действием двухосного равномерного сжатия. Потеря устойчивости и разрушение оболочки осуществлялись в несколько стадий. Вначале формировались локальные поднятия и опускания с разделяющими их разломами. На заключительном этапе происходила общая потеря устойчивости, приводящая к изменению формы всей оболочки.

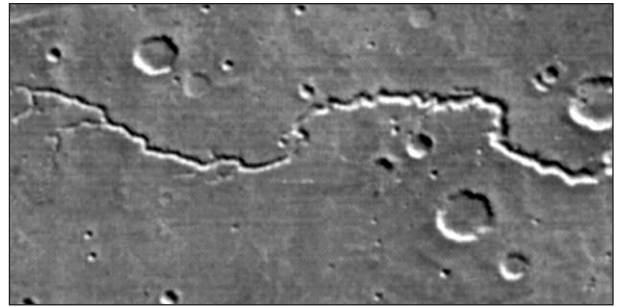
На поверхности же планеты потеря устойчивости при внутренней усадке также отражается в образовании изгибных форм — ундуляций (волнообразных поднятий и опусканий — отклонений геоида от сфероида) различного масштабного уровня. Длина



Картина нарушений, образующихся при одноосном локальном растяжении модельного песчаного слоя.

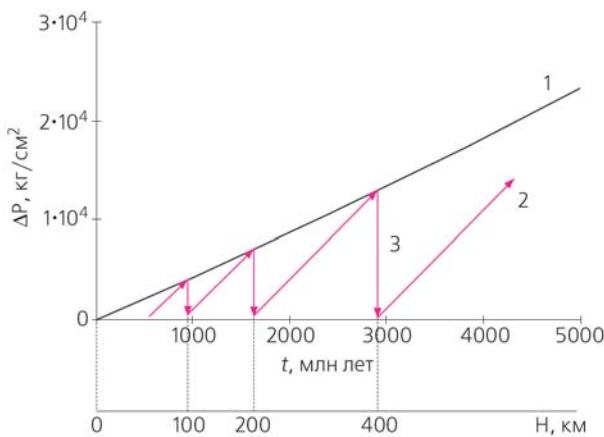
Блок, образованный при разрушении сферической модели. Первичные разломы имеют синусоидальную форму.





Канал на Марсе длиной около 1000 км [11].

Разломы на территории, расположенной между оз. Балхаш и отрогами хребта Джунгарский Алатау [9].



Динамика разрушения оболочки при растяжении. 1 — увеличение прочности оболочки; 2 — рост внутреннего давления; 3 — сброс давления при разрушении оболочки. H — толщина оболочки, ΔP — изменение давления, t — время.

волн и амплитуда зависят от толщины оболочки и ее вязкоупругих свойств. Особенность рельефа геоида — наличие двух крупных поднятий и двух опусканий, чередующихся в широтном направлении [13], и сравнительно узких ундуляций, обращенных вверх или вниз.

Эпохи, в которых преобладает сокращение внутреннего объема при усадке, чередуются с эпохами расширения, создающими во внешней оболочке напряжения растяжения. Последние время от времени разрывают ее. Выжимание расплава на по-

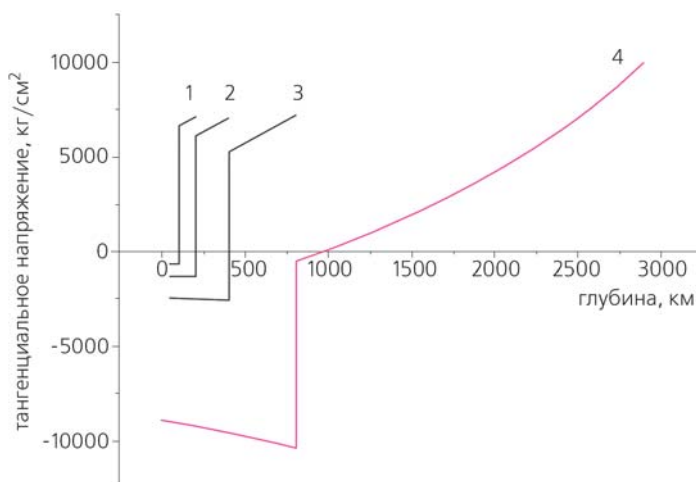
верхность разрушенной оболочки с последующим его отвердением создает на этом участке «заплату», примером которой можно считать Тихоокеанскую плиту. В.Е.Хаин отмечает, что приблизительно 200 млн лет тому назад «произошло полное обновление тихоокеанской коры <...> которая теперь слагает основную часть океана», образованного намного раньше [14]. «Латание» ослабленных мест приводит к тому, что в конце эпохи растяжения создаются равнопрочные конструкции все большей толщины. Интегральная их оценка за все

время жизни Земли показывает, что наращивание радиуса планеты (толщина «заплат») за счет увеличения ее объема в процессе радиогенного разогрева составило около 50 км, что примерно равно средней толщине земной коры.

Напряженное состояние Земли

Из последних сейсмологических данных известно, что граница фронта кристаллизации находится на глубине 2900 км

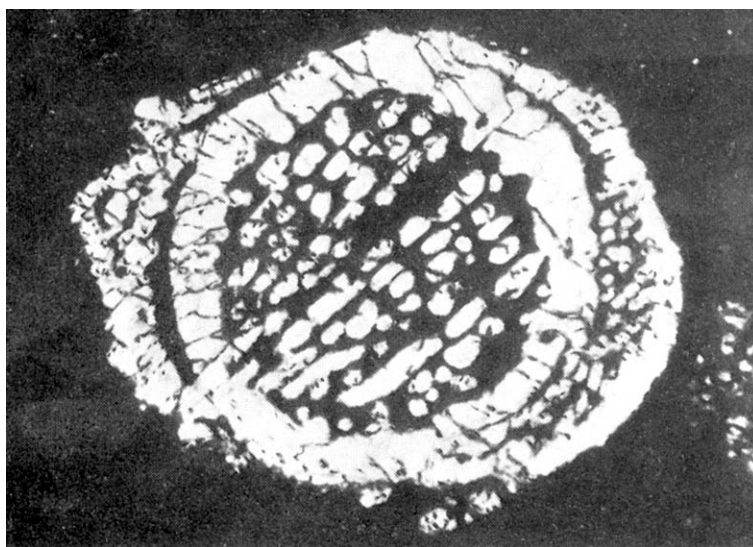
Распределение напряжений в оболочках толщиной 50 (1), 200 (2) и 400 (3) км на момент потери ими устойчивости и в современной внешней оболочке (4) толщиной 800 км при глубине фронта кристаллизации 2900 км.



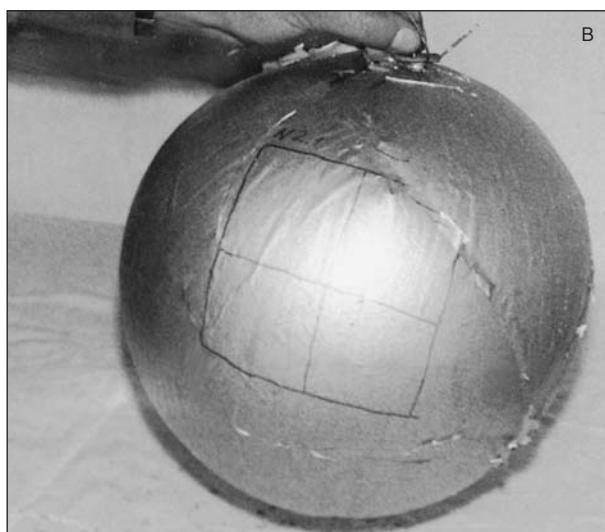
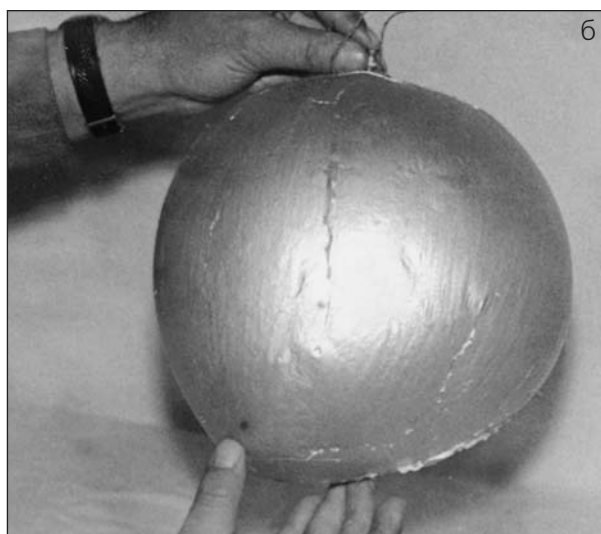
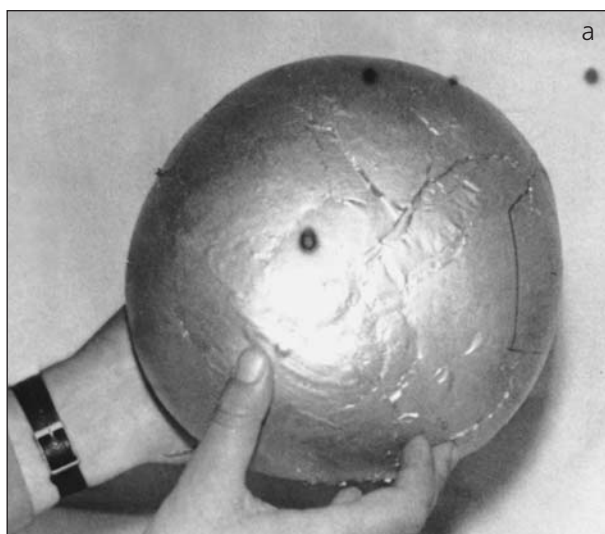
(именно до нее проходят поперечные волны). Данная величина значительно больше глубины области оттока тепла, рассчитанной с помощью уравнений теплопроводности (600—900 км). Это расхождение связано с тем, что в расчетах не учитывались тепло- и массоперенос к поверхности по ослабленным каналам горячего мантийного вещества. Другая точка отсчета — граница верхней и нижней мантии. В нашей модели она представляет собой границу между оболочкой толщиной 800—1000 км (верхней мантией), сформировавшейся за предыдущие циклы, и выкристаллизованным объемом (нижней мантией), толщина которого составляет 2000 км. Распределение напряжений в этой области показывает, что верхняя мантия находится в поле дополнительных сжимающих напряжений, а нижняя — растягивающих. Значительное уменьшение гидростатического давления приводит к уменьшению температуры плавления, что, с учетом высокой абсолютной температуры на этих глубинах, приводит к частичному плавлению вещества нижней мантии. По деформационным параметрам она становится вязкой жидкостью. Это отражается в том, что процессы разрушения (землетрясения) наблюдаются только в верхней мантии.

В предлагаемой модели эпохи преобладания сжатия (усадки) и растяжения (расширения внутреннего вещества) несколько разнесены во времени. На самом деле эти процессы взаимосвязаны — один, затухая, вызывает другой. Так, при охлаждении скорость движения фронта кристаллизации резко падает как за счет ухудшения теплообмена с поверхностью, так и за счет собственного тепловыделения при кристаллизации. Совместно с внутренним разогревом это приводит к смене преобладающего процесса. Начинается растяжение внеш-

ней оболочки. Разрушения при растяжении, выброс на поверхность горячего мантийного вещества активизируют движение фронта кристаллизации и так далее. С увеличением толщины внешней оболочки и ухудшением теплообмена с поверхностью наблюдается выравнивание скоростей процессов усадки и расширения. Возможна ситуация (скорее всего свойственная современному состоянию), когда Земля расширяется и сжимается одновременно. Но процессы разделены в пространстве. Сжатие, вызванное усадкой, связано с работой



Хондра, образованная в процессе быстрой кристаллизации сферической капли силикатной магмы [12].



Различные этапы потери устойчивости и разрушения оболочки: а — процесс формирования поднятий, опусканий и разделяющих их разломов; б — заключительный этап общей потери устойчивости: опускание левой половины оболочки и образование трех областей поднятий (правой, центральной, нижней), которые разделены локальными опусканиями и разломами (опыт 1); в — формирование крупных разломов и потеря устойчивости в радиальном направлении; г — потеря устойчивости в тангенциальном направлении: «подныривание» одной части оболочки под другую (опыт 2).

всей конструкции целиком, и поэтому имеет глобальное распространение. Растяжение, реализуемое на различных «астеносферных» горизонтах, проявлено локально в виде системы разломов различной глубины, пронизывающих как отдельные слои, так и их пачки, вплоть до всей внешней твердой оболочки.

Преобладание процесса усадки при кристаллизации внутрен-

него вещества приводило к опусканию поверхности (уменьшению радиуса). При расширении за счет изливания «лишнего» вещества радиус увеличивался. Интегральная оценка показывает, что наращивание радиуса планеты (толщина «заплат») за счет увеличения ее объема в процессе радиогенного разогрева примерно равно опусканию поверхности за счет кристаллизации оболочки толщиной 2900 км.

Мы видим настоящее дыхание Земли: увеличение и уменьшение «диафрагмы» — внешнего радиуса планеты. На стадии «выдоха» она выбрасывает расплавленную магму, флюиды и газы, на стадии «вдоха» — сокращает внутренний объем. Таких глобальных чередований (суперциклов), когда задействована вся внешняя оболочка, в истории Земли было по крайней мере четыре [14].

* * *

Наш корабль имеет еще несколько важнейших «конструкционных» элементов. Это гидросфера — совокупность всех вод Земли, находящихся в твердом, жидком и газообразном состояниях. Благодаря своим уникальным свойствам вода имеет исключительно важное значение для создания на Земле оптимального теплового режима. Это атмосфера — воздушный океан, состоящий из смеси разных газов. По характеру изменения температуры с высотой выделяют тропосферу, стратосферу, мезосферу и термосферу. При рассмотрении электрических свойств атмосферы выделяют сильно ионизированный слой — ионосферу. Особое место принадлежит озону. Хотя его количество составляет менее одной миллионной доли массы атмосферы, он вместе с ионосферой предохраняет нас от ультра-

фиолетового и рентгеновского излучения Солнца. Это магнитосфера — область пространства, где значение геомагнитного поля превышает величину постоянного межпланетного поля. Она защищает все живое от другого вида опасности, исходящей от Солнца — корпускулярных потоков (солнечного ветра).

Таким образом, Земля представляет собой сложную конструкцию, состоящую из физических оболочек, которые выполняют различные функции: защитную (магнитосфера, ионосфера, озоновый слой), техническую (ионосфера, отражающая радиоволны), биологическую (атмосфера, гидросфера, биосфера), прочностную (литосфера, астеносфера, верхняя мантия), энергетическую (мантия, ядро). За их существование ответственны разные физические силы. Однако все они взаимосвязаны и взаимозависимы. Нарушения в любой из них вызовут ответ-

ную реакцию во всех остальных. Поэтому нельзя говорить о приоритетности какой-то одной оболочки, а можно — только о необходимости комплексного рассмотрения всей конструкции. По сути, это тонкое взаимодействие и дает нам представление о Земле как о живом организме, чутко реагирующем на любые воздействия. Вся же конструкция планеты Земля выполняет функции корабля в полном соответствии с его энциклопедическим определением «как аппарата для полета человека в космосе». Осознание этого факта должно коренным образом изменить наше отношение к Земле. Она — не просто аппарат, а источник жизни. Нам необходимо использовать нормы и правила орбитальной космонавтики, в основе которых лежат представления о замкнутости космического корабля, ограниченности его возможностей, зависимости от экипажа [15]. ■

Литература

1. Адушкин В.В., Зецер Ю.И. Перераспределение энергии во внутренних и внешних геосферах при высокоэнергетических воздействиях // Динам. процессы в геосферах. М., 1994. С.10—18.
2. Турусов Р.А., Розенберг Б.А., Ениколопан Н.С. // Докл. АН СССР. 1981. Т.260. №1. С.90—94.
3. Ромашов А.Н., Цыганков С.С. Модель поведения Земли как единой конструкции // Деформирование и разрушения горн. пород. Илим; Бишкек, 1990. С.16—22.
4. Аллисон А., Палмер Д. Геология. М., 1984.
5. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость оболочек. М., 1978.
6. Цыганков С.С. // Физ.-техн. пробл. разраб. полез. ископаемых. 2000. №1. С.36—43.
7. Ромашов А.Н., Цыганков С.С. // Геотектоника. 1996. №4. С.3—12.
8. Ружич В.В. Сейсмоструктурная деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, 1997.
9. Космос—Земля / Ред. В.Д.Большаков, Н.П.Лаврова, Р.И.Фимин. М., 1978.
10. Система рифтов Земли. М., 1970.
11. Солнечная система / Ред. В.И.Мороз. М., 1978.
12. Кинг Э. Космическая геология / Ред. К.П.Флоренский. М., 1979.
13. Уфимцев Г.Ф. // Геотектоника. 1998. №4. С.19—24.
14. Хаин В.Е. // Геотектоника. 2000. №6. С.3—14.
15. Цыганков С.С., Цыганков С.С., Цыганков С.С. Проблемы безопасности космического корабля «Планета Земля» // Моск. наука — пробл. и перспективы: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. М., 2002. С.130—141.

Рецидивы шовинизма и расовой нетерпимости

В море псевдонаучной и спекулятивной литературы, к сожалению, наводнившей книжный рынок, появилось опасное течение, пропагандируемое серией «Библиотека расовой мысли» (председатель редколлекции В.Б.Авдеев, московское издательство «Белые альвы»).

Авторы предисловия к первой книге серии¹ вполне четко формулируют свои задачи: «...в данном сборнике применен принципиально новый для указанной области метод исследования русской идеи. Обычно историками толковались следствия социальных процессов, мы же хотим вскрыть причины, коренящиеся в **русских как биологическом виде** — расовые корни русской идеи». (Выделено нами, чтобы подчеркнуть «сенсационность» этой идеи, показывающей уровень антропологических знаний авторов; здесь и дальше в цитатах сохраняются их орфография и пунктуация.) Нет необходимости разбирать содержание представленных в сборнике сочинений, которые носят, мягко говоря, тенденциозный характер. Темы в основном печально знакомые со времен Третьего рейха: «арийство», «нордизм», «чистота расы и зов крови». Достоинства «белой расы» упоминаются даже в ошеломляющей по своей неадекватности статье «Неандерталец: загадка исчезновения», в которой излагается поистине «новаторская» эволюционная теория: «Как же конкретно, выглядела картина появления кроманьонца из неандертальского «яйца»? Скорее всего, в этот период у родителей-неандертальцев, к их удивлению, стали рождаться необычные с виду дети, которые, быстро подрастая, все более и более приобретали «нестандартные» черты как в строении черепа, так и в пропорциях своего тела: сильное духовное воздействие космоса требовало более совершенную форму «сосуда» для наполнения им, то есть нового антропа!»²

Некоторые авторы не ограничиваются только умозрительными рассуждениями и выдвигают практические рекомендации по внедрению евгенической практики (расовой гигиены). Так, например, с помощью клонаирования предлагается «восстановить древнерусский генотип»³ и разрабатываются принципы построения евгенического государства: «Право деторождения получают только здоровые люди, а люди одаренные получают исключительное право быть увековеченными в человеческом материале любое количество раз. Напротив, все генетически нежелательные элементы, которые самым фактом своего существования негативно влияют на жизненные силы расы, лишаются права деторождения

медицинским путем»⁴. Как говорится, комментарии излишни.

Совершенно ясно, что людей с подобными воззрениями не устраивают научные выводы отечественных антропологов, которые всегда были непримиримы к любым проявлениям расизма. Вот образец «критики» в адрес известнейших российских антропологов — авторов учебника «Антропология» (Изд-во МГУ, 1978): «Советские придворные антропологи Я.Я.Рогинский и М.Г.Левин, выполняя идеологический заказ коммунистической партии с ее интернационализмом, были вынуждены официально признать, что изоляция является одним из важнейших факторов расообразования. Они, очевидно, вспомнили близкий им Ветхий Завет, за что им отдельное спасибо. Мы утверждаем, что и в условиях нового расового строительства биологическая изоляция будет также одним из важнейших факторов. Эпопея брачного интерблудия прекратится. Разбрасывать гены по миру можно будет только неценным особям, как это позволено у дворовых собак, судьба которых интересует лишь живодеров, но никак не ценителей породы»⁵.

Для подкрепления своих «расовых мыслей», авторы серии решили вернуться к истокам, опубликовав труды «классиков» расовой теории Л.Вольфмана и Г.Гюнтера, чьи идеи сыграли, как известно, не последнюю роль в формировании идеологии национал-социализма. Особенную радость отечественным ценителям нордической идеи доставило издание главного труда основоположника расовой теории Ж.Аде Гобино «Опыт о неравенстве человеческих рас» (М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2001). В заметке по поводу этого «знаменательного» события, сообщается: «В современной «демократической» Европе такое невозможно из-за мнимой «политической корректности». И это лишний раз доказывает, что современная Россия, изуродованная бесчинствами перестроечных реформ, тем не менее, являет собой бастион свободомыслия в Белом мире»⁶. Что называется, дожили...

Политическая подоплека попыток «прививать это экзотическое растение, имя которому — расовая теория, — на русской почве»⁷ очевидна. Мы убеждены, что, несмотря на тревожные тенденции, здравомыслие наших сограждан не позволит укорениться этим демагогическим псевдотеориям, под какими бы благовидными лозунгами они ни протаскивались. Однако мы не можем относиться как сторонние наблюдатели к наращиванию тиражей подобной литературы на фоне сокращения

¹ Авдеев В.Б., Савельев А.Н. Раса и русская идея (предисловие) // Расовый смысл русской идеи. Вып.1. М., 2000. С.15.

² Гусев О.М. Неандерталец: загадка исчезновения // Расовый смысл русской идеи. Вып.1. М., 2000. С.171.

³ Кольев А.Н. Правда русского права // Расовый смысл русской идеи. Вып.1. М., 2000. С.368.

⁴ Авдеев В.Б. Генетический социализм // Расовый смысл русской идеи. Вып.1. М., 2000. С.450.

⁵ Авдеев В.Б. Новая традиция и расовая модернизация // Расовый смысл русской идеи. Вып.1. М., 2000. С.421.

⁶ Мода на расовую теорию в России // Атеней. 2001. №2. С.92.

⁷ Авдеев В.Б. Предисловие // Г.Ф.Гюнтер. Избр. тр. М., 2002. С.59.

средств для издания научных и научно-популярных трудов, посвященных проблемам изучения биологической дифференциации человечества, соотношения этнокультурных и расовых общностей, экологии человека и многим другим направлениям, которые объединяет современная антропология.

Нас беспокоит также, что господам «расологам» стало уже недостаточно выхватывать из антропологических работ отдельные термины и факты и, не понимая их смысла, втискивать в свои «расовые мысли». Они сочли возможным взять на себя миссию «толкователей и популяризаторов» истории развития антропологических знаний в России. Эту роль возложил на себя автор идеи «генетического социализма», член Союза писателей России, прозаик, г-н В.Б.Авдеев, под редакцией которого опубликована очередная книга серии: «Русская расовая теория до 1917 года» (М.: ФЭРИ-В, 2002)⁸.

В числе имен авторов, собранных под одной обложкой, только несколько имеют непосредственное отношение к становлению отечественной антропологической науки, официальной датой рождения которой считается 1864 г., когда по инициативе проф. А.П.Богданова был организован Антропологический отдел общества любителей естествознания (ОЛЕ), известного впоследствии как Императорское Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии, состоявшее при Московском университете (ОЛЕАЭ). И вначале «это было не Общество ученых антропологов, а кружок (отдел) любителей антропологии, которые желали учиться и собирать материалы по антропологии в России». — Так писал Д.Н.Анучин⁹, выдающийся ученый и продолжатель дела А.П.Богданова по организации науки. Изучая этот ранний этап накопления и анализа данных антропологии, необходимо учитывать и чрезмерную увлеченность теорией Дарвина, и неразработанность методики и терминологии, и ряд других факторов, которые не позволяют использовать выводы или цифровой материал некоторых работ того времени. Но для нас, научных потомков

этой замечательной плеяды первых антропологов, примером является их интерес, увлеченность и бескорыстное служение делу науки. Свою задачу они видели не в том, чтобы дать «определение основного культуросоцидающего расового биотипа», как хочет представить г-н Авдеев¹⁰. Напротив, российские ученые верили в то, что «собирая более полные данные о типе, быте и доисторических судьбах народностей России, приводя эти данные в систему и подвергая их научному анализу, они не только содействуют успехам нашего собственного национального самопознания, но и расширяют пределы познания человечества вообще, его телесных и духовных разновидностей, их взаимной связи и соотношений, их зависимости от условий среды и времени и т.п.»¹¹.

Почти 150 лет развития науки о человеке в России показывают, что достижения современной отечественной антропологической школы в разработке теории, методологии и практики расоведения, сохранения преемственности поколений исследователей, этических норм и традиций гуманизма, имеют стойкий иммунитет против расизма и ксенофобии¹². А господам, которые хотят решать с помощью антропологии далекие от науки проблемы, в свое время дал хороший ответ А.П.Богданов: «...основатели Общества, поставив себе научную цель, уже одну ее имели в виду и заботливо, скажу даже брезгливо, оберегались, чтобы их простая научная цель не выродилась в какое-либо средство для борьбы общественных партий и политиканствующих людей»¹³.

Современная российская антропология обладает мощным научным потенциалом, чтобы противостоять натиску дилетантизма и ксенофобии, использованию антропологических знаний в искаженном виде для обоснования концепций, пропагандируемых в упомянутых изданиях.

¹⁰ Предисловие // Русская расовая теория до 1917 г. М., 2002. С.38.

¹¹ Анучин Д.Н. Беглый взгляд на прошлое антропологии и на ее задачи в России // Рус. антропол. журн. 1900. №1. С.40.

¹² См., напр.: Проблема расы в российской физической антропологии. М., 2002.

¹³ Богданов А.П. Воспоминания об умерших деятелях и сотрудниках Общества любителей естествознания по устройству антропологической выставки // Изв. ОЛЕАЭ. Т.XLIX. Вып.2. М., 1886. С.15.

⁸ Русская расовая теория до 1917 г. / Ред. В.Б.Авдеев. М., 2002.

⁹ Анучин Д.Н. На рубеже полутора- и полустолетия // Рус. антропол. журн. 1916. №1. С.9.

Т.И.АЛЕКСЕЕВА, академик РАН, профессор, главный научный сотрудник НИИ и Музея антропологии МГУ; **Е.В.БАЛАНОВСКАЯ**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник ГУ Медико-генетического научного центра РАМН; **Е.И.БАЛАХОНОВА**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИИ и Музея антропологии МГУ; **Т.С.БАЛУЕВА**, кандидат исторических наук, заведующая лабораторией антропологической реконструкции Института этнологии и антропологии РАН; **С.В.ВАСИЛЬЕВ**, доктор исторических наук, заведующий отделом антропологии Института этнологии и антропологии РАН; **М.М.ГЕРАСИМОВА**, кандидат исторических наук, заведующая кабинетом антропологии Института этнологии и антропологии РАН; **Е.З.ГОДИНА**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник НИИ и Музея антропологии МГУ, член Кембриджского ун-та; **Н.А.ДУБОВА**, доктор исторических наук, ведущий научный сотрудник Института этнологии и антропологии РАН; **С.Г.ЕФИМОВА**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИИ и Музея антропологии МГУ; **А.А.ЗУБОВ**, доктор исторических наук, профессор, главный научный сотрудник Института этнологии и антропологии РАН; **Д.В.ПЕЖЕМСКИЙ**, старший научный сотрудник НИИ и Музея антропологии МГУ; **Г.Л.ХИТЬ**, доктор исторических наук, главный научный сотрудник Института этнологии и антропологии РАН; **В.М.ХАРИТОНОВ**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник НИИ и Музея антропологии МГУ; **Т.К.ХОДЖАЙОВ**, доктор исторических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института этнологии и антропологии РАН.

Новости науки

Космические исследования

Перспективы изучения Солнечной системы

В 2002 г. Национальный исследовательский совет США опубликовал достаточно подробный план изучения Солнечной системы; экспертная комиссия из 27 предложенных научной общественностью миссий оставила в списке 12. Они разделены на три категории: небольшие, стоимостью до 325 млн долл.; средние (до 650 млн), которые можно осуществлять каждые полтора года, и важнейшие (предельные расходы не называются), с запуском космических аппаратов раз в десятилетие.

К первым относится, например, продолжение работ по программе «Cassini». К средним — отправка аппарата в пояс Койпера и к планете Плутон; взятие образцов грунта в районе лунного южного полюса; вывод аппарата на полярную орбиту вокруг Юпитера; посадка на Венеру и обследование одной из комет с доставкой образцов на Землю. Наконец, к крупным мероприятиям причислено создание в космосе геофизической обсерватории, изучающей спутник Юпитера — Европу.

Возрожден дважды отвергнутый ранее проект изучения одно-—трех тел в поясе Койпера, а также исследования Плутона. Возможно, в эту программу, возглавляемую астрофизиком А.Стерном (A.Stern; Юго-Западный исследовательский институт в Боулдере), будет включено также изучение Харона — спутника Плутона. Запустить зонд к этой системе предполагается в 2006 г.

Существуют трудности с миссией к Европе. Этот проект находится в подвешенном состоянии

после того, как расходы вдвое превысили запланированные ранее, достигнув почти 1 млрд долл. Скорее всего, он будет отложен на неопределенное время.

Подкомитет по Марсу посчитал, что важнее всего обеспечить к 2011 г. доставку на Землю образцов его пород. Но поскольку это обойдется по крайней мере в 2 млрд долл., такие намерения не были поддержаны. НАСА предложено отыскать к 2013 г. иностранных соучастников данного мероприятия. Кроме того, этому ведомству рекомендовано проектировать небольшие аппараты, в том числе с атомными двигателями. Следует усовершенствовать и принадлежащую НАСА Сеть глубокого космоса, которая занимается приемом сигналов от далеких аппаратов.

Окончательное решение по этим весьма амбициозным планам предстоит принять руководству НАСА, Белому дому и Конгрессу США.

Science. 2002. V.297. №5580. P.317 (США).

Астрофизика

Орбита звезды в центре Галактики

Среди объяснений высокого темпа производства энергии в квазарах и других активных галактиках лидирующее положение занимает модель аккреции вещества на сверхмассивные черные дыры с массами от миллиона до нескольких миллиардов масс Солнца (M_{\odot}). В поддержку этой модели накоплено множество данных, которые тем не менее не исключали наличия в центрах активных (и вообще всех) галактик массивных и относительно компактных структур, отличных от черных дыр.

Результаты, полученные Р.Шёделем (R.Schödel; Институт внеземной физики Общества им.М.Планка, Германия), позволяют отбросить большинство объяснений, альтернативных представлениям о черной дыре. С помощью Очень большого телескопа (VLT) и Телескопа новой технологии (NTT) Европейской южной обсерватории (Чили) ученым из Германии, США, Франции и Израиля удалось проследить за движением звезды вокруг центра нашей Галактики на протяжении двух третей ее орбитального периода.

Комбинируя инфракрасные изображения с высокоточными данными радионаблюдений, исследователи в течение 10 лет отслеживали движение почти тысячи звезд в окрестностях компактного радиоисточника Sgr A*. «Изучив в мае 2002 г. результаты последних наблюдений, мы не поверили своим глазам, — вспоминает один из авторов работы Т.Отт (T.Ott). За несколько месяцев ближайшая к Sgr A* звезда S2 обогнула радиоисточник, и мы вдруг поняли, что видим ее орбитальное движение вокруг центра Галактики». Анализ всех имеющихся данных показал, что S2 движется по эллиптической орбите, в фокусе которой и находится радиоисточник Sgr A*. Весной 2002 г. звезда S2 подошла к нему на минимальное расстояние 120 а.е., что всего в три раза больше расстояния от Солнца до Плутона, и двигалась со скоростью более 5000 км/с. Период обращения звезды вокруг Sgr A* равен 15.2 года. Эксцентриситет орбиты составляет 0.87, т.е. в самой удаленной точке звезда находится всего в 10 световых днях от центрального средоточия массы. Объединив эти результаты с данными о движении более далеких

от центра Галактики звезд, авторы работы пришли к выводу, что гравитационный потенциал в ее ядре с высокой точностью описывается потенциалом точечной массы в диапазоне галактоцентрических расстояний от 0.8 светового дня до двух световых лет¹.

Конечно, даже такие данные не могут служить однозначным свидетельством существования черной дыры. Однако теперь совершенно четко установлено, что, чем бы ни был центральный невидимый сверхмассивный объект, при массе в 2.6 млн M_{\odot} его радиус не превышает 120 а.е. По сравнению с предыдущими оценками возможный его объем сократился в несколько тысяч раз. В физике известно не так много конфигураций, способных обладать такими свойствами. Новые результаты означают, что в центре нашей Галактики нет компактного скопления нейтронных звезд, маломассивных черных дыр или маломассивных звезд, равно как нет и шара, состоящего из тяжелых фермионов (нейтрино, гравитино, аксино). Фактически кроме черной дыры остался лишь один потенциальный кандидат — гипотетическая звезда из тяжелых элементарных частиц, называемых бозонами, радиус которой должен превышать радиус черной дыры лишь в несколько раз.

© Д.З.Вибе,
кандидат физико-математических наук
Москва

Астрофизика

Крабовидная туманность: гипотезы находят подтверждение

Китайские летописи середины XI в. рассказывают о внезапном появлении на небосклоне неизвестной ранее чрезвычайно яркой звезды. Сегодня мы знаем, что речь шла о взрыве Сверхновой 1054 г.; выброшенное ею вещество породило видимую и по сей день Крабовидную туманность. В ее

¹ Schödel R. et al. // Nature. 2002. V.419. №6908. P.694.

центре образовался пульсирующий источник излучения, представляющий собой компактную нейтронную звезду. Этот пульсар, вращаясь вокруг своей оси, делает около 33 оборотов в секунду и при этом излучает в радио-, рентгеновском и оптическом диапазонах. Центробежная сила, возникающая при вращении, и магнитное поле разгоняют частицы вещества вокруг пульсара до скоростей, близких к скорости света.

Все это было известно лишь в общих чертах, а механизм самих процессов оставался не до конца понятным. Ныне ситуация проясняется благодаря координированной работе Космического телескопа «Хаббл» и находящейся на орбите рентгеновской обсерватории «Чандра». Их почти восьмимесячные наблюдения дали специалистам, которых возглавляет астрофизик Дж.Хестер (J.Hester; Университет штата Аризона в Темпе), более 30 изображений самого «сердца» Крабовидной туманности, причем не статичных, а фиксирующих всю его динамику.

В период между августом 2000 г. и апрелем 2001 г. широкоугольная камера Космического телескопа «Хаббл» получила 24 снимка ядра туманности, а «Чандра» — восемь рентгеновских изображений, каждое из которых потребовало около 15 тыс. выдержек с необычно коротким временем — всего 0.2 с. Именно это предотвратило «зашкаливание» приборов крайне сильным излучением и позволило зафиксировать даже очень слабые рентгеновские черты объекта. В результате обнаружены целые серии ударных волн в окрестностях пульсара и рентгеновское кольцо, опоясывающее его в плоскости экватора.

Из рентгеновского кольца со скоростями, близкими к половине световой, вылетают пучки частиц вещества. Затем они образуют нечто вроде узко очерченных дуг, которые удерживаются в экваториальной плоскости, вероятно, силовыми линиями магнитного поля самого пульсара. В то же время от полюсов вращения пульсара устремляются под прямым углом

в сторону самой туманности диффузные потоки частиц. Они похожи на рыхлые облачка дыма, колеблющиеся над заводской трубой взад-вперед под дуновением ветра. На полученных изображениях видно, как одна из таких струй вторгается в более медленно движущееся скопление частиц и вызывает там ударную волну.

Тот факт, что экваториальные и полярные ударные волны имеют различную форму, указывает на различные механизмы выделения энергии в соответствующих направлениях. Тем самым появляется возможность судить о природном ускорителе частиц, находящемся в центре системы. Правда, в этом вопросе существуют разногласия: Хестер считает, что за поведение Крабовидной туманности в основном отвечает плазма, состоящая лишь из электронов и позитронов, а другой астрофизик Дж.Аронс (J.Arons) настаивает, что ключевую роль играет поток заряженных атомных ядер — главным образом водорода и гелия. Решение этой проблемы станет возможным после более подробного изучения полученных из космоса изображений.

Science. 2002. V.297. №5589. P.1979; Astrophysical Journal Letters. September 20. 2002 (США).

Планетология

Как рождаются планеты-гиганты?

В крупнейших планетах Солнечной системы — Юпитере и Сатурне — содержится около 93% всей ее массы, не считая самого Солнца. Возникновение планет-гигантов, видимо, связано с постепенным уплотнением сильно разреженных газов и пыли, составивших первичную протосолнечную туманность. Достаточно этого процесса представила группа ученых под руководством Л.Майера (L.Mayer; Университет штата Вашингтон в Сиэтле).

Они разработали компьютерную модель зарождения Солнечной системы, в которой учтены

естественные колебания плотности вещества, составлявшего протосолнечный диск. «На выходе» модели оказалось подобие газовых скоплений, по величине и количеству сходных с реальными планетами-гигантами, причем орбиты этих тел почти совпали с орбитой «молодого» Юпитера.

До недавнего времени теоретики полагали, что для возникновения планеты-гиганта необходимо существование относительно небольшого твердого тела с массой, примерно равной 10 массам Земли. Вокруг него должны постепенно формироваться слепляющиеся друг с другом маленькие планетезимали. И только затем это ядро, приобретя достаточную силу тяготения, начинает собирать газ, который впоследствии составит до 99% массы планеты-гиганта. Трудность, однако, состоит в том, что к этому моменту вращение протопланетного диска должно рассеять всю его массу. Согласно недавним оценкам, это могло случиться еще до того, как сформировался Сатурн, не говоря уж о значительно более крупном Юпитере.

Майер с коллегами применили в тех же целях модель, построенную ими ранее для изучения гравитационных процессов, происходящих при возникновении галактик. Модель описывает быстро вращающийся вокруг условного прото-Солнца газовый диск, состоящий примерно из 1 млн частиц (что вдесятеро больше, чем в других модельных экспериментах). Авторами было показано, что планеты способны сформироваться очень быстро, еще до рассеяния диска: уже через 1 тыс. условных лет в диске образовались комья, которые стали сливаться между собой и превратились в две или три планеты, сходные с некоторыми известными внесолнечными планетами. Однако модельные планеты имеют массы, в 2–12 раз превосходящие массу Юпитера, а их орбиты вытянуты, поэтому объяснить существование почти круговых орбит, по которым движутся планеты Солнечной системы, такая модель не в состоянии.

Тем не менее проведенное исследование — важный шаг к прояснению механизмов, ответственных за нестабильное состояние протопланетного диска. Экспериментаторам удалось показать, что в определенных условиях комья вещества способны «доживать» до момента, когда становится возможным образование протопланеты-гиганта.

Science. 2002. V.298. №5599. P.1699, 1756 (США).

Физика

Сверхпроводимость лития

Теоретические расчеты показывают, что легкие химические элементы должны переходить в сверхпроводящее состояние при высоких критических температурах T_c , однако для этого необходимы очень большие давления (например, для водорода $P > 400$ ГПа), которые трудно получить в лабораторных условиях.

Литий, в отличие от водорода (который, прежде чем говорить о его сверхпроводимости, надо сначала сжать до твердого металлического состояния, что само по себе весьма нелегко), представляет собой металл уже при нормальном давлении. Поэтому давление, необходимое для перехода лития в сверхпроводящее состояние, существенно меньше, чем для перехода водорода. Однако исследованию электрических свойств лития при больших давлениях препятствует его высокая химическая активность: будучи помещен в алмазную ячейку для сжатия, этот металл вступает в реакцию с алмазом, и ничего не получается...

Японские физики из Осацкого и Токийского университетов¹ недавно экспериментально доказали, что под давлением литий действительно становится сверхпроводником. Это происходит при $P \approx 30$ ГПа, причем увеличение давления до 48 ГПа ведет к росту T_c до 20 К — она становится самой высокой для одноэлементных сверхпроводников.

¹ Nature. 2002. V.419. №6907. P.597.

Правда, вывод о сверхпроводимости лития был сделан лишь на основании измерений температурной зависимости электросопротивления. Из-за технических трудностей ученым не удалось зарегистрировать эффект Мейснера², однако T_c уменьшалась при воздействии сильного магнитного поля: при $P = 34$ ГПа, например, величина T_c падала от 8 К (при $H = 0$) до нуля (при $H = 3$ Тл). Поэтому нет сомнений, что наблюдалась именно сверхпроводимость, а не «паразитный» эффект.

Итак, для лития теоретические прогнозы подтвердились. Если они подтвердятся и для водорода, мы сможем получить сверхпроводник уже при комнатной температуре, но, увы, только при колоссальном давлении.

http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2_21/index.htm

Физика. Техника

Лазерное излучение на нанопроволоке из нитрида галлия

Группа исследователей из Университета Калифорнии во главе с П.Янгом (P.Yang) получила лазерную генерацию на нанопроволоке из широкозонного оптоэлектронного материала — нитрида галлия³. Это достижение сулит быстрый прогресс в решении ряда задач полупроводниковой техники, в частности хранения и обработки данных с высокой плотностью. Работа стала продолжением исследований лазеров на нанопроволоках из ZnO: до сих пор такие объекты были двумерными, теперь же удалось сделать одномерный.

Нанопроволоку из GaN накачивали оптическим параметрическим усилителем (290–400 нм), фотовозбужденные носители рекомбинировали, испуская излучение в области 360–400 нм. Яркое свечение из торцов проволоки

² Об эффекте Мейснера см. также: Высокотемпературный эффект Мейснера в медьсодержащих фуллеридах // Природа. 2001. №7. С.80.

³ См. также: «Полосатые» квантовые нанопроволоки // Природа. 2002. №9. С.81.

свидетельствовало о хороших волноводных свойствах. При увеличении интенсивности возбуждения спектр люминесценции заметно смещался в длинноволновую область, что, по мнению исследователей, указывает на наличие в возбужденной проволоке электронно-дырочной плазмы. Сейчас ученые работают над созданием подобного прибора, но уже с токовой накачкой.

http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2_19/index.htm

Этология

Аутофагия и змеиное колесо — основа легенд?

В сказаниях и мифах разных народов можно найти упоминания о фантастических змеях, которые, ухватив челюстями собственный хвост, умеют катиться, подобно колесу (аналогичный мотив нередко находит отражение в ювелирных изделиях). Похоже, этот образ связан с реальными наблюдениями. Вот какую историю сообщают натуралисты-герпетологи из Флориды¹.

Дейл Никсон, житель Джексонвилля, вышел босиком во двор и почувствовал, что наступил на змею. Обнаруженную таким образом рептилию он осторожно посадил в коробку для последующей ее идентификации. Заглянув в коробку через некоторое время, Дейл с удивлением обнаружил, что пленница начала заглатывать... свой собственный хвост! Встревоженный необычным поведением животного, он позвонил герпетологам. Змею решили отнести в клинику: может быть, она нуждается в помощи? (И здесь невозможно удержаться от замечания: представьте себе, что стал бы делать российский житель, случайно наступивший во дворе на змею!)

Находка оказалась детенышем ошейниковой змеи *Diadophis punctatus*, внешне похожей на обыкновенного ужа. Она тоже относится к семейству ужовых змей,

¹ Rossi John and Roxanne // Bulletin of Chicago Herpetological Society. 2002. V.37. №5. P.86–87.

но ядовита. Правда, яд ее опасен лишь для других пресмыкающихся, на которых она и охотится.

Ко времени, когда странную змею доставили к ветеринарам, она успела заглотить около трети своего тела, и ее судьба вызвала серьезные опасения. Помочь ей освободиться не удалось, и змею-кольцо (а на фотографиях она выглядит именно как ровное тугое кольцо!) оставили в покое в надежде, что она как-нибудь выпутается сама. Но оптимистические надежды не оправдались — этот случай аутофагии (самоедства) закончился летальным исходом.

Дж. и Р.Росси предлагают два возможных объяснения наблюдавшемуся феномену. Первое. Образование кольца — довольно известный способ защиты от хищников (змей) у некоторых саламандр и ящериц. Животное хватается за хвост и образует кольцо, которое змее проглотить гораздо труднее, чем длинное и стройное тело. Не исключено, что такой способ защиты знаком и ошейниковым змеям — ведь они нередко становятся добычей других змей. Второе, и более правдоподобное. Из-за травмы позвоночника змея, возможно, утратила чувствительность задней части тела. Свой хвост она могла принять за потенциальную добычу, и, начав его заглатывать, просто не осознала ошибки.

Как бы то ни было, этот случай, хорошо описанный и документированный, объясняет, откуда мог пойти миф о змеином кольце.

© Д.В.Семенов,
кандидат биологических наук
Москва

Геология

Происхождение Витватерсрандского золоторудного бассейна

Почти 40% всего золота, добытого за последние 120 лет, происходят из одной лишь рудоносной провинции — Витватерсрандского бассейна в Южной Африке. Оценочный запас его и ныне составляет около 35% мирового.

Но единого мнения о происхождении этого уникального месторождения так и не достигнуто.

Ранее были предложены две основные модели: рудные отложения возникли в результате размыва золотосодержащих пород и последующего их перетолжения с образованием конгломератовых толщ. Однако изучение под микроскопом показывает, что большая часть местного золота кристаллизовалась уже после отложения вмещающих его осадочных пород. Более того, витватерсрандские отложения несут признаки значительного метаморфизма и гидротермальной переработки. И это привело к выдвинутой второй, гидротермальной, модели, согласно которой золото образуется из гидротермальных растворов, проникающих в осадочную толщу.

Геологи во главе с Г.Инглендом (G.England; Эдинбургский университет, Шотландия) уточнили возраст золотосодержащей породы: большая часть встречается в осадках, отложившихся между 2890 и 2760 млн лет назад. А недавно сотрудник того же университета Дж.Керк (J.Kirk) с коллегами опубликовали данные по соотношению изотопов рения и осмия, установив тем самым более узкие границы для возраста образования золота, хорошо согласующиеся с прежними, которые были сделаны при изучении окатанных пиритов и уранинитов, тоже тесно связанных с золотоносным рудением. Определенный ими возраст близок к 3030 млн лет и относится как к золоту, так и к другим тяжелым металлам. Таким образом, оказалось, что сформированные ранее золото и окатанные пириты попали во вмещающие их осадочные породы позднее, в процессе седиментации.

Столь необычные размеры месторождения можно объяснить накоплением золота в верхних оболочках Земли в течение всей геологической истории этого региона. В формировании Витватерсрандской золотоносной провинции существенную роль сыграли три фактора: вмещающие осадоч-

ные породы образовались из наиболее древних пород, известных на Земле; повторная переработка осадков привела к концентрированию самородного золота; золотоносные конгломераты не подвергались разрушениям более поздними горообразовательными процессами.

Science. 2002. V.297. №5588. P.1814, 1862 (США).

Геотектоника

Острова Фиджи вращаются

Архипелаг Фиджи (юго-запад Тихого океана) — одно из наиболее сложных в тектоническом отношении мест на Земле. Это — зона спрединга (растяжения морского дна) и трансформного сдвига земной коры, возникающего в результате горизонтальных движений, которые порождаются течениями в верхней мантии планеты. Зона весьма обширна: она простирается между желобами Тонга и Вануату в качестве ответственного сектора тихоокеанско-австралийской границы плит земной коры.

Судя по палеомагнитным данным, Фиджийская платформа в позднем кайнозойе довольно интенсивно вращалась в направлении против часовой стрелки, сместившись примерно с 21 до 135° ю.ш. Но время и степень такого перемещения определены недостаточно точно. Теперь американские геотектонисты существенно уточнили эти параметры, совместив результаты палеомагнитных исследований с итогами недавнего анализа возрастов последовательных внедрений базальтовых даек. Исследователи учли также направленные сдвиги, происходившие в плиоцене в районе вулкана Тавауа, который высится над о. Вити-Леву, крупнейшим в архипелаге Фиджи (около 10,5 тыс. км²).

Приняв, что направление вращения данного участка земной коры и локальный стресс (напряжение) в ней примерно постоянны, авторы установили, что вся Фиджийская платформа повернулась приблизительно на 50°. Причем

это весьма значительное кругообразное смещение заняло очень короткий в геологическом масштабе период — 5—3 млн лет назад.

Science. 2002. V.297. №5583. P.899 (США); Tectonics. 2002. V.21. №10. P.1029 (США).

Геофизика

Аляска поднимается

Группа геодезистов из Геофизического института при Университете штата Аляска в Фэрбенксе провела комплексное многодисциплинарное изучение современных вертикальных движений земной коры на юго-востоке Аляски, при этом использовались спутниковые данные, материалы наземных съемок и дендрохронологического анализа.

Как оказалось, этот регион относится к числу самых быстро вздымающихся на планете — в отдельных местностях земная кора поднимается со скоростью более 3,6 см/год. Максимальных значений это явление достигает в районе г. Якутат, но и в других местах оно весьма значительно. Так, о. Салливан, находящийся между Джуно (столицей штата Аляска) и пос. Хейнс, за последние 250 лет поднялся на 5,4 м!

Одной из причин специалисты называют отступление крупного приморского ледника Глейшер и других районов здешнего оледенения. Освобожденная от ледниковой нагрузки земная кора получает возможность «выпрямиться» и занять более высокое положение.

Но это, очевидно, не единственная причина. Дело в том, что у юго-восточной окраины п-ова Аляска проходит крупный разлом земной коры Фэйруэзер, который разделяет гигантские плиты — Тихоокеанскую и Северо-Американскую. Движение плит относительно друг друга может приводить к сжатию участков коры и места ми вынуждать их «выпячиваться».

Ученые создают карту вертикальных движений земной коры на Аляске, используя свежие данные измерений.

Geophysical Institute Quarterly. 2002. V.17. №4. P.4 (США).

Вулканология

На дне кратера Колима

На западе Мексики, в штате Колима, находится одноименный с ним вулкан (другое название — Фуэго). Сведения о его бурной активности известны еще с XVI в. В 1913 г. он внезапно взорвался, лишившись вершины и образовав на ее месте глубокий кратер, который затем начал медленно заполняться новыми изверженными породами, сложившими к нашим дням молодой лавовый купол. Вулкан постоянно угрожает окрестному населению и жителям близлежащего города Колима с его почти 100-тысячным населением¹.

Во второй половине 2001 — первой половине 2002 г. группа мексиканских ученых во главе с Н. Варли (N. Varley) совершила ряд восхождений на вершину вулкана. Так как это было связано с серьезной опасностью, последние этапы подъема предпринимались только в периоды затишья сейсмических толчков. Местонахождение людей определялось при помощи навигационного спутника «GPS» с точностью до 3—6 м.

19 августа 2001 г. двое вулканологов спустились в кратер и обошли молодой купол. Всего за два с половиной месяца объем этого сооружения вырос почти вдвое. По спутниковым измерениям, его основание вытянуто вдоль оси север—юг на 103 м, а с востока на запад — на 122 м. На северо-восточном склоне купола обнаружено множество фумарол, выбрасывающих газы и пары температурой до 877°C. Образцы не загрязненных воздухом фумарольных материалов позволили установить в лаборатории их состав (в мольных %): H₂O — 95,2, H₂ — 0,75, CO₂ — 0,99, CO — 0,006 и т.д. За четыре часа пребывания людей на кромке кратера и в его глубине случилось два камнепада, но они не причинили ущерба.

¹ Колима продолжает извергаться // Природа. 2000. №5. С.86; Извержение было предсказано точно // Там же. №6. С.82; Взрыв вулкана Колима // Там же. №10. С.32.

Метеорология

Тепло Европы не от Гольфстрима?

Глубоко укоренилось представление, что относительно теплый климат Северной и Северо-Западной Европы связан с Гольфстримом, несущим разогретые субтропические воды к ее берегам. К такому заключению еще 150 лет назад пришел известный американский океанограф М.Мори (М.Моры). Для сравнения приводилось лежащее примерно на тех же широтах побережье Лабрадора, оказывающееся с приближением зимы под ледяным и снежным покровом.

Иной точки зрения придерживается ныне группа океанологов и климатологов во главе с Р.Сигером (R.Seager; Обсерватория Ламонта и Доэрти по изучению Земли при Колумбийском университете в Палисейдсе) и Д.Баттисти (D.Battisti; Университет штата Вашингтон в Сиэтле). Они считают, что Гольфстрим основной роли в смягчении европейской зим не играет. Эту задачу выполняет атмосферная циркуляция — потоки воздуха, переносимые с запада на восток, через Скалистые горы, тепло южных регионов Северной Америки. Определенное значение имеет и тепловая энергия, накапливаемая в летний сезон в водах Северной Атлантики. Эти факторы, взятые вместе, и приводят к тому, что зимы на Британских о-вах бывают на 15° теплее, чем на Лабрадоре. Но количественный вклад каждого из них не был известен.

Сигер с коллегами проанализировали метеонаблюдения в изучаемом регионе за последние полвека. С учетом того, что ветры обычно несут из тропиков впадет большую энергию, чем морские течения, они установили, что 80% тепла, переносимого через Атлантику в Европу, это энергия, которую атмосфера почерпнула летом из поверхностного океанического слоя, а не из потоков Гольфстрима.

Были построены две компьютерные климатические модели.

В следующее посещение, в конце ноября, два вулканолога измерили на дне кратера температуру выходов нового фумарольного поля с южной стороны растущего купола, а двое других обследовали его северную сторону: в разных точках температуры составляли от 100 до 870°C. В месте, где температура была максимальной, вырос свежий гребень из андезитовых пород. Каждые 5 мин с вершины купола сходила небольшая каменная лавина, а примерно раз в полчаса явление принимало больший масштаб.

В конце февраля 2002 г. вулканологи, вновь поднявшись к вершине, зафиксировали серию небольших взрывов, сопровождавшихся пеплопадом. В одном случае к этому добавился выброс вулканических бомб диаметром до 20 см. По восточному склону раз в 15—25 мин сходили лавины раскаленных камней, что помешало температурным измерениям.

Во время июньского восхождения двое специалистов достигли по южному склону высоты 3090 м над ур.м. и подошли к фронту свежего лавового потока на 75 м. Язык лавы протянулся по ущелью на 1290 м. За 6 ч восхождения камнепады и лавины случались в среднем каждые 10 мин.

Наблюдения за Колимой продолжаются с Земли и из космоса. Практический и теоретический интерес вызывает также более древний и теперь дремлющий вулкан Невадо-де-Колима, возвышающийся на 4320 м к северу: «родство» этих двух вулканов может привести к опасному пробуждению последнего. Судя по окружающим гору вулканическим обломкам, Невадо-де-Колима тоже извергался начиная по крайней мере с XVI в.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2002. V.27. №6. P.9 (США).

Вулканология

Спутники помогают вулканологам

В феврале—марте 2001 г. бурно извергался вулкан Кливленд, расположенный в центральной части Алеутских о-вов. Это событие на-

блюдали сотрудники Геофизического института при Университете штата Аляска (Фэрбенкс) и Аляскинской вулканологической обсерватории (Кадьяк). Полученные данные, а также информацию с пассажирских самолетов и искусственных спутников Земли, принадлежащих Национальному управлению США по изучению океана и атмосферы, сопоставила группа сотрудников и студентов Аляскинского университета под руководством К.Дина (К.Dean; Геофизический институт).

Облако газов и пыли образовало дугу, которая, простираясь на 1 тыс. км, достигла Тихоокеанского побережья России с одной стороны и о.Кадьяк (юго-запад Аляски) — с другой. Столь значительное распространение вулканических продуктов в атмосфере — случай редкий для всего Северо-Тихоокеанского региона.

Интересные геохимические данные были получены в первые же часы извержения. Со спутника «GOES» («Geostationary Observation Environmental Satellite») поступила трехсуточная серия изображений столба выброшенных вулканом продуктов и их продвижения над северо-западной частью Аляски. Выяснилось, что, именно попав в зону атмосферной деформации, они образовали широкую и протяженную дугу. Были определены температура пепла и его высотное распределение. Впервые доказано, что приборы спутников типа «GOES» в состоянии отслеживать последствия вулканических явлений высоко в атмосфере. Полезные сведения дали также приборы на борту ИСЗ «Landsat-7».

Еще до этого события коллектив сотрудников Геофизического института Аляски разработал математическую модель распространения облака вулканической пыли; ее основные показания оказались верными. Таким образом, на практике проверены теоретические компьютерные модели рассеяния вулканических продуктов вне первоначально образованного ими столба.

Geophysical Institute Quarterly. 2002. V.17. №4. P.2 (США).

Стоило «устранить» перенос тепла морскими водами, и обогрев Скандинавского п-ова Гольфстримом срывался, а Северная Атлантика покрывалась плавучими льдами. Хотя Гольфстрим на 3°C повышает температуру на территориях по обе стороны Атлантики на широтах южнее Скандинавии, все-таки зимний температурный контраст между Европой к югу от Норвегии и Швеции, с одной стороны, и востоком Северной Америки — с другой — оставался равным примерно 15°C.

Выяснилось, что приблизительно половина этого контраста объясняется неравномерными потоками (толчками) западных ветров через Скалистые горы и Северо-Американские Кордильеры. Ветры дуют не напрямую с запада на восток, а, извиваясь то в южном, то в северном направлении, постепенно подходят к Атлантике и проносятся через нее. Когда исследователи «удалили» Кордильеры из своей модели, ветры приобрели более прямолинейное направление по пути в Европу. Тогда восток Северной Америки потеплел на 6°C, а Европа охладилась на 3°C. Вывод ясен: Гольфстрим играет второстепенную роль в образовании зимнего погодного контраста между востоком и западом Атлантики, а ведущая роль принадлежит атмосфере.

Science. 2002. V.297. №5590. P.2202 (США); Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. October, 2002 (Великобритания).

Палеонтология

Древнейшее плацентарное млекопитающее

В китайской провинции Ляонин, известной находками пернатых динозавров, в нижнемеловых озерных отложениях (возраст 125 млн лет), обнаружены почти полный скелет и следы волосаного покрова, вероятно, древнейшего плацентарного млекопитающего. Новой форме — животному размером с землеройку, масса тела которого оценивается в 20 г, — дали название эомайя (*Eomaia*).

Изучив находку, палеонтологи Джеси Лу (Zhexi Luo; Музей естественной истории им.Карнеги, Питтсбург, США) и Цян Дзи (Qiang Ji; Академия геологических наук, Пекин, КНР) пришли к выводу, что эомайя принадлежит к инфраклассу Eutheria, который объединяет всех современных плацентарных млекопитающих и ряд вымерших групп, и ее следует поместить вблизи самого основания филогенетического древа эутерий. Правда, определить родственные отношения эомайи с известными отрядами млекопитающих пока не удалось.

С обнаружением эомайи известная нам ископаемая история инфракласса Eutheria отодвинулась в прошлое на 5—10 млн лет, причем ранее находки древнейших эутерий были представлены только отдельными зубами и фрагментами челюстей. Считавшийся же до сих пор самым древним полный скелет плацентарного млекопитающего, найденный в Монголии, датируется возрастом 85 млн лет. Специалисты из Университета штата Калифорния в Ирвинге (США), основываясь на данных молекулярной биологии современных плацентарных и полагая линейным характер накопления различий в геноме, выдвинули гипотезу, что эутерии отделились от ветви сумчатых млекопитающих 170 млн лет назад, а возникновение современных видов завершилось 104 млн лет назад. Эомайя, жившая в самом начале раннего мела, заполняет разрыв, который существовал между данными палеонтологии и молекулярной биологии, и показывает, что филогенетическое разнообразие эутерий было весьма высоким уже 125 млн лет назад.

Science. 2002. V.296. №5568. P.637 (США).

Археология

Какао «постарело»

При раскопках на севере Белиза (Центральная Америка), неподалеку от пос.Кольха, среди предметов, извлеченных из захоронений знатных майя, американские

археологи обнаружили отлично сохранившиеся небольшие глиняные кувшины с такими горлышком и носиком, которые производились только в доклассический период (900 г. до н.э. — 250 г. н.э.). Они похожи на нынешние чайники и явно служили для разливания напитков, но каких именно — оставалось неясным.

Судя по некоторым расшифрованным иероглифическим надписям на языке майя, а также сохранившимся свидетельствам испанцев-конкистадоров, в этом индейском племени большое значение придавали шоколаду и употребляли его в жидком виде в непривычной для нас смеси — с маисом, красным стручковым перцем чили и медом. Но когда именно индейцы впервые приобщились к этому напитку?

Ранее считали, что какао стало популярным среди элиты майя примерно в V в.: об этом, в частности, говорили результаты изучения остатков пищи, сохранившихся в гробницах классического периода (250—900 гг.): следы какао наши, например, в одном из захоронений на северо-востоке Гватемалы, относящемся к 460—480 гг.

Американские химики Дж.Херст и С.Тарка (J.Hurst, S.Tarka; Лаборатория по изучению продуктов питания в Херши, штат Пенсильвания) исследовали «чайники» из Кольхи; самый древний из них изготовлен примерно в 600 г. до н.э., а самый «молодой» — около 250 г. н.э. Из каждого сосуда ученые извлекли по 500 мг осевших на дне и на стенках остатков и проанализировали их состав, используя методы масс-спектрометрии и ультрафиолетовой хроматографии. Оказалось, что в трех из 14 изученных образцов в осадках присутствует теобромин — алкалоид, содержащийся в бобах какао.

Таким образом, можно утверждать, что майя были знакомы с жидким шоколадом — какао — почти на целое тысячелетие раньше, чем полагали ранее.

Nature. 2002. V.418. №6895. P.289 (Великобритания).

Все о самом главном, или «Principia Tectologica»

А.М.Гиляров,

доктор биологических наук

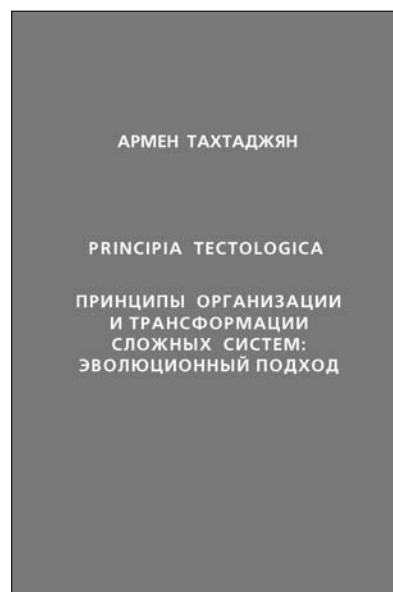
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

«Мы нация многословная и многосложная; мы — люди придающего предложения, завихряющихся прилагательных. Говорящий кратко, тем более — кратко пишущий, обескураживает и как бы компрометирует словесную нашу избыточность». Эти удивительно точные слова Иосифа Бродского (написанные совсем по другому поводу) мне хочется заимствовать, чтобы передать свои впечатления от рецензируемой книги. Сотни страниц вполне хватило Армену Леоновичу Тахтаджяну, чтобы простыми, понятными широкому кругу читателей фразами изложить основы целой науки о принципах организации сложных систем. Интерес ботаника к столь общим проблемам вряд ли случаен. Мир растений будто намеренно предоставляет тектологии богатейший материал, тем более если он оказывается в руках выдающегося специалиста со столь колоссальным опытом работы в области эволюционной морфологии, систематики и флорогенеза. Вспомним, что именно из ботаники возникло учение Гёте о морфологии и что в первую очередь ботаником был отец систематики — Карл Линней.

Впрочем, ботанические примеры в «Principia Tectologica»

вовсе не многочисленны. Суть тектологии Тахтаджян видит в том, чтобы выявить «принципиальную структурную общность самых разнородных систем и общих механизмов самых различных явлений» (с.16). Системы же могут быть чрезвычайно разнообразными. Ведь фактически «любой объект, будь то физический, биологический, социальный, художественный или концептуальный, можно рассматривать как некоторую систему, состоящую из более или менее взаимосвязанных элементов» (с.35). А их структура, т.е. характер взаимосвязей между отдельными элементами, часто демонстрирует черты глубокого сходства: изоморфизмы (случаи, когда систему S' можно рассматривать как модель системы S) или по крайней мере — гомоморфизмы (когда система S' является как бы упрощенной копией S). Примером изоморфизма может быть аналогия между различными типами колебаний (акустических, электромагнитных) или же соответствие между негативом и позитивом, а примером гомоморфизма — отношение географической карты к местности.

До некоторой степени парадоксально тектологию можно определить как науку об интеграции наук. При этом, как подчеркивает автор, интеграция ни



Тахтаджян А.Л. Principia tectologica. Принципы организации и трансформации сложных систем: Эволюционный подход. Изд. 2-е, доп. и перераб.

СПб.: СПХФА, 2001. 121 с.

© А.М.Гиляров

в коем случае не сводится к редукции всех наук к одной, например к физике, а основывается на поиске изоморфизмов между системами, состоящими из элементов, по природе своей порой очень разных. Если следовать предложенному Виндельбаном и Риккертом еще на рубеже 19-го и 20-го столетий делению всех наук на «генерализирующие» (иначе — номотетические, или законополагающие) и «индивидуализирующие» (иначе — идиографические), то тектология определенно относится к генерализирующим, номотетическим. В своем понимании задач и предмета тектологии Тахтаджян следует за известным российским исследователем Александром Александровичем Малиновским (1873—1928), писавшим под псевдонимом А. Богданов. У читателя советских времен это имя ассоциировалось прежде всего с философией «эмпириомонизма», а еще больше — с изничтожающе-саркастической критикой Ленина, который буквально обрушился на Богданова в своей работе «Материализм и эмпириокритицизм» (бывшей обязательной для изучения в любом вузе). Поэтому определенной смелостью нужно было обладать Тахтаджяну, чтобы написать, а редакторам сборника «Системные исследования» еще в 1972 г. (!) опубликовать большую статью о тектологии и о ее основателе — Богданове. Рецензируемая же книга первым своим изданием вышла уже в постперестроечный период (1998), и автор был, к счастью, свободен от многих цензурных ограничений.

Хотя ссылок на «Тектологию» Богданова в «Principia Tectologica» приводится очень много, это ни в коем случае не современный пересказ классической работы, а оригинальное произведение, подытоживающее и переосмысливающее то, что уже было накоплено несколькими поколениями исследователей и, конечно, — самим автором. Отдавая должное Богданову, Тахта-

джян немало внимания уделяет и другим своим предшественникам, стремясь восстановить справедливость, которая в истории, увы, не раз нарушалась. В частности, среди важнейших тектологов назван великий интегратор науки Герберт Спенсер, труды которого Богданов не мог не читать, но на которого никогда не ссылался скорей всего по идеологическим соображениям — для него это был «буржуазный ученый», в некотором роде антипод Карла Маркса. Среди же исследователей середины XX в. очень важная фигура — Людвиг фон Берталанфи, в свою очередь не ссылающийся на Богданова, хотя, как свидетельствуют историки науки, маловероятно, чтобы этот начитанный ученый не сталкивался с немецким переводом «Тектологии».

Впрочем, не исключено, что Берталанфи к своей «общей теории систем» пришел и независимо — ведь соответствующие идеи носились в воздухе и к ним приближались многие ученые. Ряд положений, вошедших позднее в тектологию, уже формулировался ранее под разными названиями в рамках тех или иных наук. Так, неоднократно выдвигался принцип, согласно которому «система стремится к изменению таким образом, чтобы свести к минимуму внешнее нарушение» (с.22). Фактически он уже содержался в представлениях Спенсера о «подвижном равновесии». Физикам же он давно известен как «принцип наименьшего действия» (или «теорема де Мопертюи», сформулированная еще в 1740 г.). Но самое распространенное его название — «принцип Ле Шателье» — пришло из химии.

Кратко охарактеризовав разные типы систем (открытые и замкнутые, гетерогенные и гомогенные, непрерывные и дискретные и т.п.), автор переходит к анализу их устойчивости. Это свойство — одно из важнейших, поскольку определяет саму возможность существования любой

системы в окружающей среде, в условиях почти всегда неизбежного противостояния внешним воздействиям. Механизмы достижения устойчивости могут быть очень разными. Предлагается различать, к примеру, устойчивость количественную, определяемую размером системы, и структурную, зависящую от особенностей ее устройства и функционирования. В свою очередь структурная устойчивость подразделяется на статическую (например — Эйфелева башня) и динамическую (живой организм). В этой связи Тахтаджян приводит определение организма, данное Богдановым еще в 1927 г., но звучащее весьма современно: «Самовоспроизводящаяся машина жизни, являющаяся системой равновесия систем равновесия».

Отдельная глава книги посвящена элементарным процессам, лежащим в основе преобразования систем. Это — изменчивость, конъюнкция (соединение систем, в том числе и приводящее к их разрушению), дизъюнкция (разрыв старых связей, распад систем), коммуникация (связь, основанная на передаче информации), полимеризация, олигомеризация и некоторые другие. Особое внимание автор уделяет триггерному эффекту — т.е. выходу системы из неравновесного состояния при незначительном внешнем воздействии (например, нажатии на курок ружья). В качестве триггеров, приводящих к серьезным перестройкам в системах, могут фигурировать и случайные события. Явление это получило название «принцип Пуанкаре», поскольку именно Пуанкаре четко сформулировал его в начале XX в. Однако у него были предшественники. Тахтаджян упоминает, в частности, хорватского ученого XVIII в. Руджера Бошковица, писавшего о том, что «ничтожнейшие причины» могут порой приводить к грандиозным последствиям.

Очень интересная (с точки зрения биолога!) особенность,

нередко свойственная сложным системам, — это наличие в их составе подсистем, находящихся на разных уровнях организации. Еще в 1959 г. Тахтаджян назвал это свойство гетеробатмией (букв. — разноступенчатость). В строении организма гетеробатмия сильнее выражена тогда, когда отдельные его части существенно различаются по своей эволюционной истории и онтогенезу. Например, проводящая система стебля у высших растений — это древнее образование, а репродуктивные органы (например, цветок) — гораздо более молодое. Как экологу, мне представляется, что гетеробатмия играет исключительно важную роль в развитии любой экосистемы, да и биосферы в целом (обстоятельство, недавно подчеркнутое и Г.А.Заварзинным). Фактически вся эволюция биосферы как единой системы уже почти 4 млрд лет зиждется на том, что появление новых более сложно устроенных организмов, например эвкариот (т.е. форм, обладающих настоящим ядром) или многоклеточных (грибов, растений, животных), возможно только при сохранении в системе организмов просто устроенных, продолжающих осуществлять важнейшие этапы круговорота дефицитных биогенных элементов, используя нередко только им доступные способы извлечения энергии. К примеру, только прокариоты (бактерии в широком смысле слова) могут фиксировать атмосферный азот, и только прокариоты способны использовать соединения серы в качестве источника энергии (благодаря чему существуют экосистемы гидротерм). Гетеробатмия оказывается, таким образом, необходимым условием как существования, так и развития любых экосистем.

Однако, как подчеркивается в рецензируемой книге, гетеробатмия не в меньшей степени характерна и для социальных систем, особенно претерпевающих значительные преобразо-

вания. В качестве действительно очень яркого примера Тахтаджян приводит картину, которую он сам наблюдал летом 1971 г. в горах Новой Гвинеи: встреченный им юноша держал лук, стрелы и транзисторный приемник.

К сожалению, в краткой рецензии нет возможности рассказать о всех тех аспектах строения и поведения сложных систем, которые нашли отражение в «Principia Tectologica». Однако все же следует сказать о таком важном механизме сохранения систем (а также их уничтожения и, наоборот, развития), как отбор. По словам автора, именно отбор, т.е. «дифференцированное сохранение устойчивых форм», является фактором, противодействующим общей тенденции систем к деградации, к хаотическому состоянию, создавая «порядок из хаоса и порядок из порядка» (с.63). О чрезвычайно важной роли отбора писали все, причастные к созданию тектологии, в том числе Спенсер, Богданов, Эшби. На принципе отбора самовоспроизводящихся, реплицирующихся единиц — репликаторов (конечно, при допущении хотя бы минимальной их изменчивости) — основывается не только эволюция биологическая, но и культурная.

Вслед за Ричардом Докинсом Тахтаджян выделяет два типа репликаторов: гены, хорошо известные из биологии, и мемы (от гр. μιμησις — подражание), имеющие отношение прежде всего к социальной сфере. Мемы могут проявляться в языке, музыке, научных теориях, стиле одежды и т.п. Примеры мемов — компьютерные программы (в том числе вирусные), пение птиц, приемы охоты. Среди мемов, которые могут быть по-настоящему опасными для человечества, автор указывает на мемы нацизма, фашизма, коммунизма (особенно сталинского и полпотовского типа), религиозных мифов (в частности, религиозного фундаментализма), астрологии и ряд других.

Быстрый, легкий и совершенно естественный переход от проблем естествознания к проблемам человеческой культуры, общества и политики, встречается в книге несколько раз. Последовательно и в то же время очень откровенно, без всяких оглядок на то, что это может кого-то задеть, Тахтаджян отстаивает свою гражданскую позицию, в высшей степени демократическую и свободолобивую. Он пишет о вещах, которые даже склонные к публицистике авторы обычно стараются обойти. Ставит на одну доску Ленина и Гитлера, решительно выступает против распространяющегося влияния религии (которую вообще рассматривает как силу, тормозящую развитие общества, не говоря уж о полной несовместимости ее с наукой), ратует за самоопределение всех малых народов, если они этого хотят, и не считает «сепаратизм» бранным словом.

Обеспокоенность автора ситуацией, складывающейся в современном обществе, особенно четко выражена в заключительном разделе книги, который вынесен в Приложение и назван «Тектология и общество». По сути это своего рода манифест свободного, умудренного жизнью ученого, адресованный Urbi et Orbi, правителям и просто образованным гражданам всего мира. Блестящий текст этот безусловно должен стать доступным как можно более широкой аудитории. Пересказать его трудно, но несколько основных пунктов (хотя второстепенных там нет!), я рискну здесь привести в виде прямых цитат (все они со с.108—112), хотя кавычек не ставлю.

Человечество представляет собой крайне метастабильную систему, раздираемую глубокими противоречиями, чему особенно способствует его исключительная гетерогенность и гетеробатмичность, потрясающие различия в уровне развития тех-

нологии, культуры, общественном строе, образовании, менталитете, верованиях, традициях, отношении к свободе и правам личности, в образе и уровне жизни. (Замечу от себя, что ситуация здесь разительно отличается от того, что складывается в природных экосистемах, для которых гетеробатмия — условие обеспечения стабильности.) Метастабильности способствуют характерные для многих этносов и государств, особенно тоталитарных, искаженное восприятие чужих мотивов и целей, крайние формы этноцентризма и ксенофобии, жесткое деление на «они» и «мы».

Становятся опасными возможность грядущей экологической катастрофы, глобальный экологический кризис, распространение ядерного оружия и других средств массового истребления, широкое распространение наркотиков, эпидемии СПИДа и других болезней.

Все это делает <...> систему в целом столь нестабильной, что в любой момент может отрицательно работать принцип Пуанкаре — даже сравнительно небольшое событие с триггерным или коммутативным

эффектом может привести к локальной или даже мировой катастрофе.

Возможен <...> другой, более оптимистичный сценарий, основанный на анализе многих положительных тенденций в развитии, если не всего современного общества, то многих развитых или развивающихся стран.

Главным препятствием на пути к открытому обществу является резко выраженная культурная и экономическая гетеробатмия человечества. <...> Одной из важнейших тенденций в развитии общественного сознания в развивающихся странах является постепенное освобождение от всевозможных негативных мемов, особенно от религиозных и политических мифов.

Положительными тенденциями являются развитие мирового информационного пространства и усиливающиеся контакты между людьми. <...> Путь к открытому обществу лежит через демократию. Подлинная демократия невозможна без свободы личности, так как «все, что подавляет индивидуальность, есть деспотизм, каким бы именем он ни назывался».

Каковы бы ни были положительные функции религии

на ранних этапах цивилизации, когда были еще только проблески научного познания мира, в современном мире она является только тормозом цивилизационного прогресса.

Приходится признать, что понятие гражданской и тем более духовной свободы чуждо подавляющему большинству человечества.

Не следует забывать, что человечество представляет собой глобальную систему подвижного равновесия, в которой в той или иной степени постоянно действует закон Ле Шателье.

Хотя приведенные цитаты и вырваны из контекста, я все же надеюсь, что они дают определенное представление о позиции автора и его взгляде на общество. Книга эта не только может, но и должна быть рекомендована для широкой читательской аудитории. Многие обсуждаемые в ней вещи могут показаться на первый взгляд очевидными и даже банальными, однако погружение в текст удивительным образом заставляет об этих очевидных вещах многократно задумываться. Остается только сожалеть, что работа издана столь мизерным тиражом (500 экз.) и практически недоступна многим, кто хотел бы ее прочесть. ■

«Муж вещей травных в сыскании неусыпный»



300 лет
Санкт-Петербургу

А.К.Сытин,

кандидат биологических наук

Ботанический институт им.В.Л.Комарова РАН

Санкт-Петербург

Иоганн Христиан Буксбаум (1693—1730), естествоиспытатель и исследователь Юго-Восточной Европы, Малой Азии и Кавказа, стал первым академиком-ботаником Петербургской академии наук. Он родился в Мерзебурге (Саксония). Хотя изучал медицину в Лейпцигском, Виттенбергском, Йенском и, наконец, в прославленном Лейденском университетах, так и не получил степени доктора. Одержимый страстью к растениям, Иоганн Христиан постигал ботанику успешнее врачевания. Следуя наставлениям своего учителя Х.Б.Рупия (1688—1719), Буксбаум опубликовал труд «Перечень растений, произрастающих в окрестностях Галле» (1721). Это сочинение заслужило одобрение знатоков, а потому, когда Петр I обратился к известному германскому медику Фридриху Гофману с просьбой рекомендовать ботаника, способного к описанию российской флоры, то достойнейшим был назван Буксбаум. Приглашенный Медицинской коллегией в Петербург 28-летний Буксбаум принял участие в устройении Медицинского огорода на Аптекарском острове, читал студентам курс ботаники, совершал экскурсии и собирал гербарии в окрестностях столицы.

© А.К.Сытин

В 1724 г. Буксбаум отправился в Константинополь как врач и натуралист русского посольства под началом графа Александра Ивановича Румянцева. Согласно инструкции, данной ему лейб-медиком Лаврентием Блюментростом, Буксбаум должен был производить тщательные разыскания в трех царствах природы, уделяя особое внимание лекарственным растениям. Третий пункт наставления рекомендовал, выбирая интересные объекты природы, «все прилежно смалевать велеть» [1], для чего к экспедиции прикомандировали рисовальщиков — живописца Иоганна Христиана Маттарнови с помощником-подмастерьем.

В октябре 1724 г. посольский караван покинул Петербург, а 26 декабря прибыл в столицу Блистательной Порты. В Константинополе и ближайших его окрестностях — Пере, Белграде и особенно Бююкдере, где находилась летняя резиденция посла, — Буксбаум обнаружил виды растений, неизвестных науке. Он сообщил об этом Блюментросту, к тому времени уже ставшему президентом Академии наук. Летом того же года Буксбаум посетил Принцевы о-ва в Мраморном море.

Интересно, что поднявшись в высокогорья Западной Анатолии в августе 1725 г., он пишет о «всегда покрытой снегом» вер-

шине хребта Улу-даг (2493 м над ур.м.) [2]. Это свидетельство подтверждает данные палеоклиматологии о большей суровости тогдашнего температурного режима.

Добросовестно выполняя задание, Буксбаум расширил первоначальную программу исследований. Самое пристальное внимание он уделял мхам (хотя немногие из них используются в фармакопее), не оставляя без внимания и другие криптогамные растения — лишайники, водоросли, грибы. Он приводит иллюстрированные описания зоофитов, т.е. морских беспозвоночных — губок, кораллов и мшанок. Археологические, этнографические и нумизматические коллекции немалой ценности Буксбаум приобрел для Кунсткамеры Петербургской академии наук, а его отчеты регулярно появлялись на страницах академических «Комментариев».

Дальнейший маршрут дипломатической экспедиции из Константинополя лежал через Малую Азию (по южному берегу Черного моря) в Армению и Грузию, до находившейся тогда под властью Персии области, которую Буксбаум называл «Media». Больной, похоронив нескольких спутников и отстав от посольского обоза, через Баку и Дербент, Буксбаум едва добрался до Астрахани.

В начале 1727 г. он вернулся в Петербург, где приступил к изданию своего главного труда «Сотня малоизвестных растений, изучавшихся близ Константинополя и на Востоке», сокращенно называемого «Centuria», а также продолжил изучение прибалтийской флоры. В июле он собирался в Нарву и Ревель «и все прочие лифляндские места для изыскания ботанических трав», а из отчета Академии наук от 27 августа 1727 г. мы знаем, что «Иоганн Христиан Буксбаум, ботаники профессор, первую центурию, или сотницу, трав новых видов, которых в Турецком своем путешествии собрал, Академии наук подал, также и протчия в порядок уже приводит, начал писать историю натуральную Пруссии, Ливонии и Ингрии, наипаче елико до трав надлежит». Однако здоровье его ухудшилось настолько, что в 1729 г. он вынужден был вернуться в Германию. Неблагоприятные отзывы о первых выпусках «Centuria» не способствовали доброму расположению духа. Буксбаум запальчиво возражал оппонентам, ерничал, много пил. Он умер 7 июля 1730 г. в родном селении Вермдорф, так и не закончив своего труда. Последний, пятый том монументального сочинения, опубликованного петербургским академиком Иоганном Амманом, появился спустя десятилетие, в 1740 г.

Часть иконографических материалов буксбаумовских «Centuria» хранится в архиве Академии наук (Санкт-Петербургский филиал) и в скором времени будет издана в рамках российско-голландского проекта «Петербургская Кунсткамера как рисованный музей» [3]. Сведения об авторстве рисунков, времени и месте их создания отсутствуют. Каталогизация изображений позволила распределить их в несколько групп, руководствуясь прежде всего ботанической точностью рисунка. К первой группе относятся рисунки, выполненные непо-

средственно в экспедиции, вторую составляют копии, сделанные либо в экспедиции, либо позднее в Петербурге с присланных оригиналов.

Изображения выполнены акварелью на белой бумаге без водяных знаков. Они имеют предварительный контур, нанесенный карандашом. Чаще изображение раскрашивалось полностью, но есть и неоконченные эскизы. Как правило, растение представлено в натуральную величину — в виде фрагмента цветущего и плодоносящего побега, реже — с подземными органами. Иногда общий вид дополняют существенные для определения детали — препарированные части цветка или плода. Изображение падающей от объекта тени — прием, используемый в жанре «обманки», который бытовал в конце XVII — начале XVIII в., и способствующий оптическому эффекту восприятия артефакта как реального трехмерного предмета.

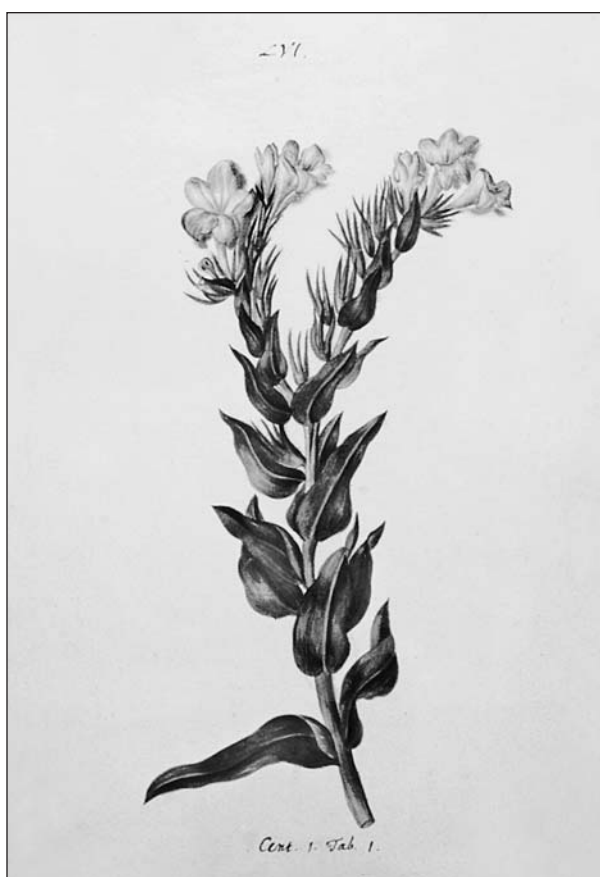
Виртуальная иллюзия засушенного растения возникает особенно часто в изображении мхов. Однако строгость научного рисунка жертвовала живописным приемом ради точной передачи важных для идентификации растения деталей, а потому на многих рисунках тень отсутствует. Копии соответствуют размерам оригиналов, но изготовлены несколько более ремесленно и менее информативны для ботаники. Как правило, они выполнялись не только акварелью, но, возможно, и с применением темперы, белил или каких-либо иных пигментов. Для них обычно использовалась бумага с водяными знаками. Копии мог изготовить сам Иоганн Христиан Маттарнови, однако в Петербурге оригиналы могла скопировать и Мария Доротея Гзель — дочь знаменитой художницы и энтомолога Марии Сибиллы Мериан [4]. Перевод изображений на медные доски (с которых печатались таблицы) осуществляли штатные граверы Г.И.Унфер-

цанг и Г.А.Кейзер. В создании книги принимал участие и выдающийся мастер Алексей Федорович Зубов [5]. Гравированные изображения передают тонкие морфологические признаки и даже воспроизводят особенности опушения растения. Раскрашенные Доротеей Гзель оттиски близки к оригинальным изображениям, а потому ценность их для систематики несомненна.

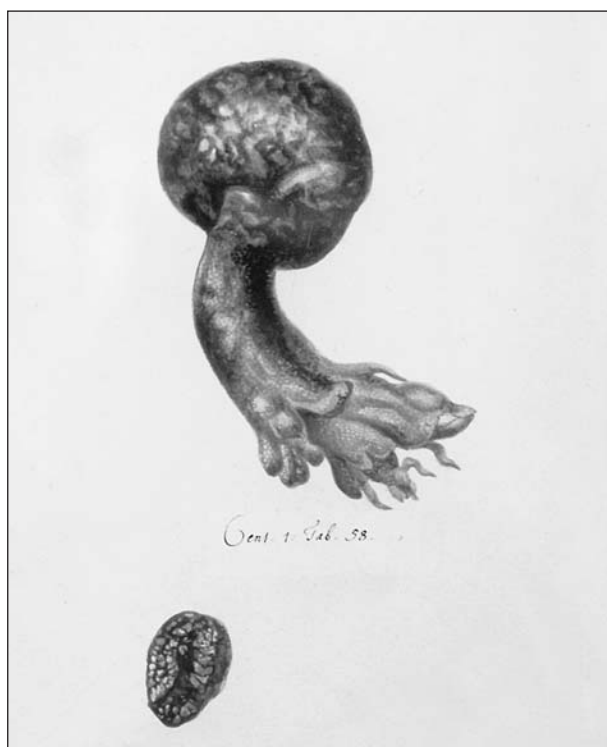
Приоритет изображения перед коллекционным образцом господствовал в долиннеевской ботанике. Буксбаум отчасти повторил маршрут французского путешественника Турнефора (1656—1708) и воспользовался его «Corollarium institutionum rei herbariae» (1719), но не знал об иллюстрациях Клода Обрие — рисовальщика, сопровождавшего Турнефора в его путешествии. Иоганн Христиан мог запальчиво заявить: «У меня есть 11 новых родов и 225 новых видов, и они так обработаны, что я их более ценю, чем 1500 растений Турнефора, которые мне известны по одним именам». Буксбаум полагал, что изображение растения информативнее словесных описаний, а потому составлял их весьма лаконично. Карл Линней утверждал, что гербарный образец незаменим в такономической практике. Неоднократно цитируя сочинения Буксбаума (в «Species Plantarum» имеется 58 ссылок на его данные), Линней иногда сомневался в верности отдельных изображений в «Centuria». Чтобы разрешить затруднение, он прибег к помощи постоянного петербургского корреспондента, профессора Иоганна Петера Фалька. Последний предпринял розыски коллекций сухих растений Буксбаума и 12 января 1768 г. сообщил Линнею о результатах: «Наконец-то я теперь наверное узнал, что гербарий Буксбаума здесь не имеется, а, по-видимому, он должен быть в Берлине, как мне рассказывал профессор Паллас. Следовательно, Вам все-



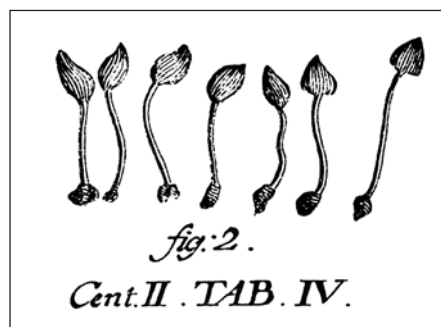
Зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa* L.).
Бумага, акварель.



Айпиантус прекрасный (*Airyanthus pulcher*).
Бумага, акварель.



Буксбаумия безлистная (*Buxbaumia arphylla* Hedw.).
Бумага, акварель.



Ложнодождевик бородавчатый (*Scleroderma verrucosum* (Bull.) Pers.). Бумага, акварель.

го лучше можно узнать от Гледича, что за растение *Cist. affinis*» [6]. Эпизод отражает тенденцию линнеевской эпохи в ботанике — поворот к осознанию превосходящей ценности гербарных коллекций над изображением растений.

Буксбаум был незаурядным систематиком, наделенным высоко развитым чутьем на своеобразие таксона. Очень интересуюсь моховидными (Bryophyta), он прозорливо установил особенность мелкого мха, заме-

ченного им под Астраханью, и выделил его в род *Vuxbaumia*, желая увековечить этим названием фамилию своего отца. Родовое название *Vuxbaumia* установил в 1801 г. известный бриолог Иоганн Хедвиг. Имя ученого получили и таксоны более высокого ранга — порядок (*Vuxbaumiales*), семейство (*Vuxbaumiaceae*), а также некоторые виды (например, *Carex buxbaumii Wahlenb.* — осока Буксбаума). Лишь немногие из ботаников удостоены подобной чести. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 01-04-49491.

Автор благодарит В.С.Соболева и И.В.Тункину (Санкт-Петербургский филиал Архива РАН), Г.Н.Панкратову (Библиотека РАН), Д.Мейерс (Амстердамский университет), R.Kistemaker и Н.П.Копаневу за неоценимую помощь и поддержку в работе с изобразительными материалами.

Литература

1. Материалы для истории Императорской Академии наук. Т.1. (1716—1730). СПб., 1883. С.55.
2. Пекарский П. История Императорской Академии наук в Петербурге. Т.1. 1870. С.239.
3. ПФА РАН. Разр. I. Оп.19. Д.4. Л.261, 262.
4. Каминская А.Г. Художники Георг и Доротея Гзель в Петербурге // Из истории Петровских коллекций. СПб., 2000. С.84—107.
5. Гравировальная Палата Академии наук XVIII века / Сост.: М.А.Алексеева, Ю.А.Виноградов, Ю.А.Пятницкий. Л., 1985. С.14.
6. Литский В.И. Исторический очерк Императорского Санкт-Петербургского Ботанического сада // Императорский Санкт-Петербургский Ботанический сад за 200 лет его существования. Ч.1. СПб., 1913. С.189.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
П.А.ХОМЯКОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредители:
Президиум РАН,
Издательско-производственное
и книготорговое
объединение «Наука»
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
Подписано в печать 15.05.2003
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 7328
Набрано и сверстано в редакции

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