

# **ПРИРОДА**

**2000 6**



**ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

Главный редактор академик **А.Ф.АНДРЕЕВ**

Первый заместитель главного редактора  
доктор физико-математических наук **А.В.БЯЛКО**

Заместители главного редактора:  
доктор физико-математических наук **А.А.КОМАР** (физика),  
доктор биологических наук **А.К.СКВОРЦОВ** (биология),  
доктор геолого-минералогических наук **А.А.ЯРОШЕВСКИЙ** (науки о Земле)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Доктор геолого-минералогических наук **С.В.АПЛОНОВ** (геофизика),  
**О.О.АСТАХОВА** (редактор отдела биологии и медицины), доктор геолого-минералогических наук **А.Т.БАЗИЛЕВСКИЙ** (планетология), доктор геолого-минералогических наук **И.А.БАСОВ** (геология), кандидат химических наук **Л.П.БЕЛЯНОВА** (редактор отдела экологии и химии), кандидат технических наук **В.П.БОРИСОВ** (история науки), член-корреспондент РАН **В.Б.БРАГИНСКИЙ** (физика), доктор физико-математических наук **А.Н.ВАСИЛЬЕВ** (физика), доктор географических наук **А.А.ВЕЛИЧКО** (география), академик **М.Е.ВИНОГРАДОВ** (биоокеанология), академик РАН **А.И.ВОРОВЬЕВ** (медицина), член-корреспондент РАН **С.С.ГЕРШТЕЙН** (физика), доктор биологических наук **А.М.ГИЛЯРОВ** (экология), академик **Г.С.ГОЛИЦЫН** (физика атмосферы), кандидат физико-математических наук **Ю.К.ДЖИКАЕВ** (ответственный секретарь), академик **Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ** (почвоведение), академик **А.М.ДЫХНЕ** (физика), академик **Г.А.ЗАВАРЗИН** (микробиология), академик **Ю.А.ЗОЛОТОВ** (химия), **М.Ю.ЗУБРЕВА** (редактор отдела географии и океанологии), академик РАН **В.И.ИВАНОВ** (генетика), академик **В.Т.ИВАНОВ** (биоорганическая химия), академик **В.А.КАБАНОВ** (химия), доктор физико-математических наук **М.В.КОВАЛЬЧУК** (физика), **Г.В.КОРОТКЕВИЧ** (редактор отдела научной информации), академик **Н.П.ЛАВЕРОВ** (геология), член-корреспондент РАН **В.В.МАЛАХОВ** (зоология), доктор биологических наук **К.Н.НЕСИС** (биология), член-корреспондент РАН **Л.В.РОЗЕНШТРАУХ** (физиология), **П.Е.РУБИНИН** (история науки), член-корреспондент РАН **А.Н.САХАРОВ** (история), академик **В.П.СКУЛАЧЕВ** (биохимия), кандидат физико-математических наук **К.Л.СОРОКИНА** (редактор отдела физики и математики), член-корреспондент РАН **Н.П.ТАРАСОВА** (физическая химия), **Н.В.УЛЬЯНОВА** (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), **Н.В.УСПЕНСКАЯ** (редактор отдела истории естествознания и публицистики), академик **Л.Д.ФАДДЕЕВ** (математика), член-корреспондент РАН **М.А.ФЕДОНКИН** (палеонтология), доктор биологических наук **С.Э.ШНОЛЬ** (биофизика), **О.И.ШУТОВА** (редактор отдела охраны природы), член-корреспондент РАН **А.М.ЧЕРЕПАЩУК** (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

“Флаговая” форма крон деревьев, характерная для берегов Охотского моря.

См. в номере: **Махинов А.Н., Сапаев В.М.** *Охотское побережье.*

Фото В.М.Сапаева

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ.

Крошечный паук крестовик — обычный корм корольков, гаечек и хохлатых синиц.

См. в номере: **Булавицев В.И.** *Зимнее братство.*

Фото автора



## В НОМЕРЕ:

### 3 Полян П.М.

#### Не по своей воле

Внутренние и внешние принудительные миграции в СССР затронули около 15 млн человек и имели для нашей страны самые серьезные демографические, экономические и политические последствия.

### 13 Решетников В.П.

#### Взаимодействующие галактики

Галактики, которые Э.Хаббл в 20-е годы открыл как отдельные звездные системы, поначалу считали изолированными "островами" Вселенной. Но оказалось, что они, как и люди, не любят одиночества, взаимодействуют и объединяются в пары, группы, скопления.

## Лекторий

### 22 Ратнер В.А.

#### Хроника великого открытия: идеи и лица

После успешной экспериментальной дешифровки генетического кода началось теоретическое осмысление найденных закономерностей. Стало ясно, что молекулярная биология и генетика — это новое открытое поле для серьезных теоретических обобщений.

### 31 Гуркин В.А.

#### Эксперимент в эпоху эллинизма

### 35 Несис К.Н.

#### Загадочные дициемиды — высокоорганизованные животные

## Вести из экспедиций

### 37 Махинов А.Н., Сапаев В.М.

#### Охотское побережье

Эта территория удивительно притягательна суровой красотой, богатством и разнообразием природных ресурсов. Однако Прихотье никак не внесешь к числу процветающих районов страны.

## Заметки и наблюдения

### 43 Булавинцев В.И.

#### Зимнее братство

### 46 Магарилл С.А., Борисов С.В., Первухина Н.В., Пальчик Н.А.

#### Уникальные структуры неорганических соединений ртути

От соседей по Периодической системе ртуть отличается многими физическими свойствами. Необычно и кристаллохимическое строение ее соединений. В их сложных, весьма разнообразных структурах атомы ртути, связанные попарно, в треугольники или протяженные цепи, образуют элементарные блоки кристаллической решетки.

### 56 Сурдин В.Г.

#### Спиральная туманность в Большом Магеллановом Облаке

### 58 Жарков В.Н., Мороз В.И.

#### Почему Марс?

Важнейшая задача планетологических исследований — построение теории образования и эволюции Земли. Решить ее можно только в рамках сравнительной планетологии. Марс с данной точки зрения представляет исключительный интерес.

### 68 Каплун А.П., Жигальцов И.В., Швец В.И.

#### Конструирование лекарств для лечения болезни Паркинсона

Разработан новый способ доставки в головной мозг дофамина, дефицит которого приводит к развитию болезни Паркинсона. Этот метод лечения оказался эффективнее существующих.

## Новости науки

### 76

**Nb** О чем говорит гавайский плюм (76). — "Касинии" идет своим курсом (77). — На пути к телескопам-великанам (77). — Обсерватория им.Пьера Оже (78). — Хищная улитка — охотник на прыгучих рачков (78). — Конвергенция у пустынных ящериц. Семенов Д.В. (79). — Полет — средство от депрессии (80). — Фитогормоны и урожайность (80). — Болезнь Альцгеймера: факторы риска (80). — Острова архипелага Самоа — цепь "горячих точек"? (81). — Эоловое происхождение красных глин в Северном Китае (81). — "Немо" — обсерватория под водой (81). — Остров-призрак (82). — Извержение было предсказано точно (82). — Японо-американский климатологический центр (82). — Такой засухи в США не было 100 лет (83). — Модель прогноза ураганов (83). — Зачем ихтиозаврам такие большие глаза? (83). — Какова древность первых многоклеточных организмов? (84). — Судостроение в Древнем Риме (84).

*Коротко* (12, 75)

## Рецензии

### 85 Каганов М.И.

#### Через 60 лет

## Новые книги

### 91

## Встречи с забытым

### 93 Сытин А.К.

#### Живая география России

Н.В.Гоголь изучает естественноисторические труды П.С.Палласа



## CONTENTS:

### 3 Polyan P.M.

#### Not of Their Own Free Will

Internal and external forced migrations in the USSR involved about 15 million people and had very serious demographic, economic, and political effects on our country.

### 13 Reshetnikov V.P.

#### Interacting Galaxies

Galaxies, which were discovered by E. Hubble in the 1920s as separate star systems, were initially regarded as isolated islands of the Universe. It was found, however, that they, like people, abhor loneliness, interact with each other, and form pairs, groups, and clusters.

## Lectures

### 22 Ratner V.A.

#### Chronicle of a Great Discovery: Ideas and People

The successful decipherment of the genetic code was followed by theoretical analysis of the observed regularities. It became clear that molecular biology and genetics constitute a new open field for serious theoretical generalizations.

### 31 Gurkin V.A.

#### Experiment in the Epoch of Hellenism

### 35 Nesis K.N.

#### Mysterious Dicyemides: Highly Organized Animals

## News from Expeditions

### 37 Makhinov A.N. and Sapaev V.M.

#### Sea of Okhotsk Coast

This coastal area is exceptionally attractive in its severe scenic beauty and diverse mineral wealth. However, it is by no means one of Russia's prospering regions.

## Notes and Observations

### 43 Bulavintsev V.I.

#### Winter Brotherhood

### 46 Magarill S.A., Borisov S.V., Pervukhina N.V., and Palchik N.A.

#### Unique Structures of Inorganic Mercury Compounds

Mercury differs from its neighbors in the periodic table in many physical properties. The crystal chemistry of its compounds is also unusual. In their complex, extremely diverse structures, mercury atoms—linked in pairs, triangles, or extended chains—form building blocks of the crystal lattice.

### 56 Surdin V.G.

#### Spiral Nebula in the Great Magellan Cloud

### 58 Zharkov V.N. and Moroz V.I.

#### Why Mars?

One of the major objectives of planetological research is to produce a theory of the Earth's origin and evolution. This can only be accomplished by means of comparative planetology. From this point of view, Mars is of extraordinary interest.

### 68 Kaplan A.P., Zhigaltsev I.V. and Shvets V.I.

#### Creating Medicines for Parkinson's Disease

Scientists have developed a new method for supplying the cerebrum with dopamine, whose deficiency leads to Parkinson's disease. This method of treatment has proved more efficient than any of the existing ones.

## Science News

### 76

**Nb** What Story Is Told by the Hawaiian Plume? (76). — Cassini Follows Its Course (77). — Along the Path to Giant Telescopes (77). — Pierre Auger Observatory (78). — Predatory Snail Hunting for Landhoppers (78). — Convergence in Desert Lizards. **Semenov D.V.** (79). — Flight as a Remedy for Depression (80). — Phytohormones and Crop Yield (80). — Alzheimer's disease: Risk Factors (80). — Islands of the Samoa Archipelago: A Chain of Hotspots? (81). — Eolian Origin of Red Clays in Northern China (81). — Nemo: An Underwater Observatory (81). — Ghost Island (82). — The Eruption Was Predicted Accurately (82). — A Japanese-American Climatological Center (82). — The USA Has not Seen Such a Drought during the Last 100 Years (83). — A Model for Predicting Hurricanes (83). — Why Ichthyosaurus Needed So Large Eyes (83). — When Did the First Multicellular Organisms Originate? (84). — Ship Building in Ancient Rome (84).

*In Brief* (12, 75)

## Book Reviews

### 85 Kaganov M.I.

#### 60 Years Later

## New Books

### 91

## Encounters with the Forgotten

### 93 Sytin A.K.

#### Russia's Living Geography

*N.V. Gogol' researching P.S. Pallas's natural-historical studies*

# Не по своей воле

П.М.Полян

**В** истории нашей страны принудительные миграции занимают особое место. Они не были “изобретены” здесь, но именно в СССР их довели до “технологического совершенства” и невиданных доселе масштабов. Последствия этого мало изученного феномена не изжиты до сих пор — в целом многочисленные и на первый взгляд хаотические перемещения депортированного населения имели самые серьезные демографические, экономические и политические последствия.

В этой статье сделана попытка обобщить и систематизировать многочисленные данные о географии вынужденных миграций, опубликованные в российской и зарубежной печати в основном за последнее десятилетие, а также материалы моих собственных архивных изысканий.

Напомним, что СССР был страной традиционно высокой мобильности населения. Однако в ее основе лежал не свободный выбор гражданами своего места жительства, обусловленный индивидуальными предпочтениями и осо-



*Павел Маркович Полян, доктор географических наук, старший научный сотрудник Института географии РАН. Область научных интересов — социально-экономическая и историческая география, география населения. В последние годы занимается проблемой принудительных миграций в СССР. Автор монографий “Жертвы двух диктатур. Военнопленные и оstarбайтеры в Третьей рейхе и их репатриация” (М., 1996), “Вестарбайтеры”: интернированные немцы в СССР (предыстория, история, география)” (Ставрополь: М., 1999).*

бенностями рынков труда и жилья. Это была мобильность совершенно иного типа — она носила плановый, массовый и приказной, одним словом, принудительный характер. Кульминацией этого процесса стала депортация значительной части населе-

Внутренние принудительные миграции, затронувшие около 6 млн человек, начались с депортации казаков в 1919 г и кончились выселением “ту неядцев” в середине 50-х годов. Их основные и определяющие элементы — так называемая кулацкая ссылка и тотальные депортации наказан-

ных народов в годы Великой Отечественной войны.

Несколько меньшее, но все же значительное количество депортированных советских граждан и на счету фашистских захватчиков, вывезших в годы войны на принудительные работы в Третий рейх более 3,2 млн человек одних только мирных жителей; большинство из них в первые же послевоенные годы было репатрировано. При этом кроме рабочих в СССР были возвращены (нередко насильно) военнопленные, беженцы и другие категории советских граждан, находившиеся в Третьем рейхе, а также немцы из стран Юго-Восточной Европы — Югославии, Румынии, Болгарии.

Депортационная политика тесно связана с общей политикой принудительного труда в СССР того времени. Поскольку план добровольного переселения в 20-е годы в лесодобывающие районы по существу провалился, в 30-е годы уже начали использовать труд заключенных и депортированных — спецпереселенцев, административно высланных, демобилизованных через военкоматы красноармейцев и др. При этом считалось, что принудительный труд мог быть более эффективным, чем свободный. Между системами планово-добровольного, тюремно-лагерного (ГУЛАГ) и депортационного переселения отмечалось не всегда четкое, но все же ощутимое разделение. Первая «отвечала» за переселение в регионы, где не хватало трудоспособного населения, с относительно благоприятными природными и социальными условиями (например, на Северный Кавказ или в отдельные районы юга Дальнего Востока). ГУЛАГ «специализировался» на освоении районов с экстремальными природными условиями (например, Колымы) или же обеспечивал

физическим трудом сверхсекретные объекты (урановые рудники, закрытые города и т.д.). Основными же ареалами вселения депортированных стали европейский Север, Урал, Западная Сибирь, Казахстан и Средняя Азия, за исключением самых обжитых или приграничных районов.

## Кулацкая ссылка

На протяжении десятилетий, начиная с 1919 г., в СССР был осуществлен не один десяток операций по депортации тех или иных групп населения (табл.1). Первые масштабные акции прошли под знаменами коллективизации и раскулачивания в 1930 г. Плановая география кулацкой ссылки выглядела при этом так: в Северный край (Архангельская, Мурманская обл., Коми АССР) высылались кулаки из Украины и Центрально-Черноземной обл., в Сибирь — с Нижней и Средней Волги, а также Белоруссии, а на Урал и в Казахстан — из Северного Кавказа. В Сибири и на Урале большая часть депортаций носила внутрикраевой характер. Дальше всех — в Восточную Сибирь и на Дальний Восток — отправляли обитателей западных границ. В целом за этим просматривалась тенденция игнорировать природно-климатические традиции (и соответственно хозяйственные навыки) депортируемых кулаков и избегать их расселения в регионах, смежных с районами выселения. Особенно наглядный пример — выселение кулаков Нижней и Средней Волги, для которых оказались «закрытыми» и Казахстан, и Урал.

В 1931 г. по сравнению с 1930 г. пространство раскулачивания резко расширилось, при этом удельный вес вселения в Северный край сократился и увеличился в Казахстане, а в 1932—1933 гг.

и в Сибирь (особенно Западную).

В результате коллективизации исключительно тяжелая ситуация сложилась в 1931—1933 гг. в Казахстане. Многие здесь умерли от голода, а от 1 до 2 млн человек в 1932—1933 гг. откочевали в другие районы. Из них только 400 тыс. человек вернулось в Казахстан (примерно столько же осело в РСФСР и республиках Средней Азии, а еще 200 тыс. — за рубежом: в Китае, Монголии, Афганистане, Иране и Турции).

## Выселения из приграничных районов

Создание на границах страны «зон безопасности» шириной от 800 м до 100 км повлекло за собой новые депортации. В них прослеживается определенная географическая логика.

«Подготовка» границ началась в 1930 г. с раскулачивания населения западных районов Украины и Белоруссии. Со временем классовый подход уступил этническому, и сделанный в 1935 г. шаг на север — подготовка северо-за-

Таблица 1

Внутренние депортации в СССР (тыс. чел.)

| Периоды   | Количество депортированных |
|-----------|----------------------------|
| 1919—1929 | 45                         |
| 1930—1931 | 2050                       |
| 1932—1934 | 535                        |
| 1935—1938 | 260                        |
| 1940—1941 | 395                        |
| 1941—1942 | 1200                       |
| 1943—1944 | 870                        |
| 1944—1945 | 260                        |
| 1947—1952 | 400                        |
| Итого:    | 6015                       |





*Кулацкая ссылка. Направления депортаций в 1930—1931 гг. — цветные стрелки. Прерывистой линией обозначены участки границ СССР до 17 сентября 1939 г.*

падной границы (в Карелии и Ленинградской обл.) — официально уже был направлен против конкретного этноса — финнов-ингерманландцев. В 1936 г. была заново “обработана” западная граница, которую теперь очищали от поляков и немцев. Летом 1937 г. с южных границ государства были выселены курды и евреи-ираны, что подтвердило уже обозначившееся направление движения — против часовой стрелки, по периметру сухопутных советских границ (в 1938 г. “работа” на юге была продолжена). Последним пришел черед дальневосточной границы СССР: состоявшаяся осенью 1937 г. депортация корейцев (причем не только из района Владивостока, но и из ряда других приграничных районов) была на порядок масштабнее и значимей любой из предшествовавших операций. Начавшийся в 1935 г. в Карелии круг последовательных выселений фак-

тически замкнулся в июле 1939 г. депортацией “инонациональностей” из Мурманской обл.

Аннексия в 1939—1940 гг. прибалтийских государств, присоединение части территории Польши и Румынии как бы разомкнули этот круг, и вновь началась “подготовка” западных границ. На северо-западном участке (война с Финляндией) эта “работа” несколько застопорилась, но в 1940—1941 гг. была продолжена на западном и юго-западном участках новой границы — в Прибалтике, в Западной Украине и Западной Белоруссии, а также в Молдавии. Вместе с тем практически “без внимания” остался довольно значительный по протяженности участок границы с Китаем и Монголией — с этой стороны СССР не усматривал угрозы. Тем не менее спецпереселенцев здесь расселяли на определенном удалении от границы.

## Депортация народов

В годы войны была проведена целая серия переселений, которые нельзя назвать иначе как дискриминационными. Классический образец таких депортаций — выселение наказанных народов, причем “наказание” проходило не только по принципу “возмездия”, но и превентивно. Так, за Урал были переселены почти все советские немцы, где их расселили практически повсеместно. С учетом трудармейцев из числа местных и демобилизованных из армии их приблизительное число составило около 1 млн человек. Если же к нему прибавить “социально-опасных” финнов, греков и др., выселенных в 1941 г., а также трудармейцев других национальностей, общее число превентивно депортированных в 1941—1942 гг. можно оценить в 1.2 млн человек.



*Выселения из приграничных районов и другие принудительные миграции в 1929–1938 гг. Цветными стрелками показаны обобщенные направления депортаций: 1, 1а — “социально-опасных элементов” из приграничной зоны БССР и УССР (1929); 2 — финнов-ингерманландцев из окрестностей Ленинграда (1935); 3 — поляков и немцев из приграничной зоны УССР (1936); 4 — курдов и других народов из приграничной зоны и Закавказья (1944); 5 — корейцев из Приморского края (1937); 6 — евреев-ираны из Марыйской обл. (1938); 7 — иранцев из пограничных районов Азерб.ССР (1938).*

Четыре северокавказских народа — карачаевцы, чеченцы, ингуши и балкарцы (общей численностью более 600 тыс. человек) — были выселены по принципу “возмездия” целиком, в основном в Казахстан и Киргизию. Обезлюдела территория в 35 тыс. км<sup>2</sup> — размером почти со Швейцарию.

Ареалом вселения калмыков стали существенно более суровые Западная и Восточная Сибирь (часто — их северные районы), а крымских татар — Узбекистан. Тотальные депортации возмездия шести наказанных народов, осужденные за неполные семь месяцев — между ноябрем 1943 и июнем 1944 гг., — затронули около 870 тыс. человек. Вместе же с превентивно наказанными немцами, финнами и т.д. количество депортированных

“по государственному заданию” граждан составляет приблизительно 2.1 млн человек.

Некоторые народы оказались затронуты депортациями косвенно (компенсационно): русские, грузины, осетины, кабардинцы, аварцы, лакцы и др. были переселены, часто вопреки собственной воле, на оставленные без присмотра земли. Так, переселенческие потоки из Дагестана охватили 21 горный район, 144 аула были переселены полностью, а 110 — частично. Первые переселенцы в опустевшие районы Чечни прибыли уже в конце марта 1944 г., т.е. через неполный месяц после выселения чеченцев. К 10 августа 1944 г. были переселены около 65 тыс. человек, что фактически составляло около пятой части тогдашнего населения горной зоны Дагестана.

Около 55 тыс. дагестанских переселенцев были размещены в четырех районах, присоединенных к Дагестану, и более 10 тыс. — в предгорных и равнинных землях внутри прежних границ Дагестана (около 7 тыс. лакцев из Кулинского и Лакского районов и около 3 тыс. аварцев, переселенные на земли бывшего Ауховского района). Дагестанцы адаптировались на новом месте с трудом, часть из них стала возвращаться назад, их задерживали и отправляли обратно, а некоторые старые дагестанские аулы разрушали, чтобы пресечь поток “возвратников”. Когда же реабилитированные чеченцы и ингуши в 1957 г. стали приезжать на свои земли, большинству дагестанцев пришлось вторично переселяться (и как правило, если не в города на





*Направление депортаций наказанных народов: 1 — немцев (1941); 2 — финнов (1941, 1942); 3 — карачаевцев (1943); 4 — калмыков (1944); 5 — чеченцев и ингушей (1944); 6 — балкарцев (1944); 7 — крымских татар (1944); 8 — турок-месхетинцев (1944).*

равнине, то в родные, но частично уже разрушенные аулы). В начале 1950 г. примерно то же самое происходило в ареалах прежнего сосредоточения поволжских немцев и крымских татар. В Саратовской и Крымской областях был зафиксирован наибольший отток вселенного ранее населения.

Поскольку Крым тоже пограничная территория, массовые выселения с полуострова в мае—июне 1944 г. греков, болгар, армян и др. могут рассматриваться не только как этническая депортация, но и как своего рода “подготовка” границ. Ее жертвой стали также турки-месхетинцы, курды и хемшилы, выселенные зимой 1944 г. из районов вдоль советско-турецкой границы в Аджарии и Месхет-Джавахети.

У всех депортаций прослеживались три одинаковых этапа: первыми выслали основную массу народа из ареала его расселения, вторыми — тех, кто жил или находился вдали от родных мест, третьими шли демобилизованные солдаты и офицеры, которых не взирая на боевые заслуги переселяли в места, где уже жили их соплеменники.

Внешне характер “подготовки” границ имела и борьба с членами организации украинских националистов в Западной Украине, начавшаяся в 1944 г., после освобождения этой территории (ожесточенное сопротивление армии было оказано также в Западной Белоруссии и Прибалтике, особенно в Литве). На деле это были самые настоящие войсковые операции. По некоторым данным, уже в 1944 г.

число депортированных из Западной Украины превысило 100 тыс. человек. Суммарное же количество переселенных в СССР в 1944—1945 гг. (помимо наказанных народов) составило около 260 тыс. человек, а общее за военный период количество депортированных составило 2.35 млн человек.

После окончания войны, когда, казалось бы, все причины и поводы для репрессивных миграций утратили силу, депортации продолжались, хотя и в ослабленном виде. Принудительные переселения активизировались в 1947 г. и заметно усилились в 1948 г. в ходе борьбы с вооруженным сопротивлением, особенно в Литве и Западной Украине. Общее количество депортированных в послевоенные годы, по имеющимся данным,



Регионы, где расселение депортированных народов не производилось.

*Ареалы концентрации депортированных народов: Б — балкарцы, И — ингуши, К — калмыки, Ко — корейцы, Кт — крымские татары, Кч — карачаевцы, Н — немцы, Т — турки-месхетинцы, Ф — финны, Ч — чеченцы.*

может быть оценено примерно в 400 тыс. человек. Основной областью депортации стала западная граница СССР, а в географии вселения все более заметную роль начала играть Восточная Сибирь, в особенности Красноярский край и Иркутская область.

Суммарное количество советских граждан, депортированных внутри СССР в военные и послевоенные годы, со-

ставляет приблизительно 2.75 млн человек, а их общее количество за период с 20-х по середину 50-х годов — около 6 млн.

Пики интенсивности внутренних депортаций приходятся на 1930—1931 и 1941—1942 гг. — периоды, когда СССР фактически находился в состоянии войны: в первом случае — необъявленной гражданской с собственным крестьянством, во втором — с внешним агрессором. Это хорошо согласуется с приуроченностью принудительных миграций к историческим катаклизмам.

Сопоставление внутренних и внешних принудительных миграций (табл.2) дает возможность провести некоторые сравнения и обобщения.

Угон в Германию миллионов советских граждан был самой массовой депортационной акцией гитлеровской Германии. Если поставить его

в один ряд с операциями ОГПУ—НКВД 30—40-х годов, то принудительное переселение в Рейх заняло бы первое место по масштабам и тщательности. Однако по масштабам и интенсивности (особенно в 1945 г.) ее превзошла массовая репатриация советских граждан, принудительный характер которой был предопределен Ялтинскими соглашениями. Что касается депортации в СССР так называемых интернированных и мобилизованных немцев из европейских стран, можно отметить, что и во время этого мероприятия органы НКВД вели себя, как дома: операция была проведена в сжатые сроки и совершенно в том же «стиле», что и высылки наказанных народов с Кавказа или из Крыма.

Суммарный объем населения, депортированного в СССР или из СССР за рассматриваемый период, составил

**Таблица 2**

**Международные депортации гражданских лиц**

| Виды и периоды           | Количество депортированных, тыс.чел. |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Из СССР:                 |                                      |
| Остарбайтеры (1941—1944) | 3 200                                |
| В СССР:                  |                                      |
| Репатриация (1944—1952)  | 5 460                                |
| “Вестарбайтеры” (1945)   | 300                                  |
| Итого в СССР:            | 5 760                                |
| Всего:                   | 8 960                                |

в общей сложности около 15 млн человек, из них 6 млн пришлось на внутренние депортации и 9 млн на внешние.

## Некоторые последствия принудительных миграций

После смерти Сталина, в 1954—1956 гг., начался процесс реабилитации незаконно репрессированных народов (табл.3). К этому времени прорисовался следующий характер их нового расселения. Спецпоселенцев из наказанных народов не было на весьма значительной части СССР, в частности на западе европейской части, в районах, откуда эти народы выселялись (на Северном Кавказе, Нижнем Поволжье), а также в ряде приграничных областей (Мурманской и Камчатской), а также в Приморском крае. В остальных регионах имелось то или иное сочетание представителей наказанных народов.

Самой многочисленной группой были немцы: в 1953 г. на них приходилось 44,5% общего числа спецпереселенцев. На втором месте стояли чеченцы — но их было почти в четыре раза меньше. Более половины (52,4%) немцев свою вторую временную родину обрели в Казахстане, став там со временем третьим по численности народом, но большие группы немцев (от 50 до 100 тыс. человек) разместили на Алтае, в Таджикистане, Карагандинской, Новосибирской и Акмолинской областях. Такие же концентрации переселенцев встречались у крымских татар и корейцев в Узбекистане и у чеченцев в Киргизии.

Из наказанных народов дальше всего на восток — в Сибирь, особенно в Западную, — был смещен основной ареал расселенных калмыков.

Примерно там же разместились и основная часть депортированного в начале войны финского населения.

Расселение карачаевцев и балкарцев как бы копировало чеченское: ареалы их концентрации — это Киргизия и граничащие с ней южные области Казахстана (больше всего карачаевцев в Чимкентской обл.). Ингушей в ссылке расселили относительно обособленно и в то же время неподалеку от чеченцев. В качестве их ареалов выделялись северные области Казахстана.

Расселение турок-месхетинцев во многом близко крымско-татарскому: они были сконцентрированы в Узбекистане и Киргизии, в том числе в общей для обеих республик Ферганской долине. Очаги расселения корейцев — это Северный Казахстан и Узбекистан.

По количеству депортированных (данные на 1989 г.) наказанные народы в масштабе СССР выстраиваются так: немцы, чеченцы, корейцы, крымские татары и ингуши. Для Российской Федерации последовательность иная: чеченцы, немцы, ингуши, калмыки и карачаевцы. Что касается реабилитации народов, то ее получили карачаевцы и балкарцы (автономный статус, право вернуться на родину), частично — чеченцы, ингуши и калмыки (автономия, частичный возврат территории) и вовсе не получили немцы, крымские татары и турки-месхетинцы (у последних автономии и не было).

Начиная с 50-х годов все три нереабилитированных народа вели упорную, но практически безуспешную борьбу. Правда, личное право селиться в родных местах немцы и татары в конце концов приобрели, а вот турки-месхетинцы до сих пор лишены и такой возможности, рассредоточившись в ряде регионов Кавказа (Азербайджане,

Кабардино-Балкарии, Краснодарском крае) и Средней Азии, куда они были изгнаны. Поскольку власти Грузии противодействуют возвращению турок-месхетинцев в Джавахети-Месхетию, вполне реальной может стать их консолидация, например, в Азербайджане, где они живут сегодня. Крымские татары, уже сконцентрировавшиеся за последнее 10-летие в Крыму и создавшие там реально действующую систему самоорганизации (меджлисы разных уровней), стоят все еще далеко от достижения своих целей, хотя и значительно ближе других.

Для немцев единственной альтернативой Немецкой республике в Поволжье стала тотальная эмиграция в ФРГ (на историческую родину переселилось более 1,5 млн человек). Вместе с тем эмиграция в Турцию ни для крымских татар, ни для турок-месхетинцев реальной альтернативой не является.

Роль депортированных народов в межнациональных конфликтах периода позднего СССР была хотя и не ключевой, но весьма заметной. После распада СССР и формирования новых российских границ она, к сожалению, стала еще более значительной. Например, пролилась кровь при погроме турок-месхетинцев в Ферганской долине в июне 1989 г., ингушских манифестациях в Грозном в январе 1993 г., кровавых столкновениях между ингушами и казаками в станице Троицкой Сунженского района.

Самый яркий пример — восьмидневный осетино-ингушский конфликт, разразившийся осенью 1992 г. и остановленный только с помощью российских войск. Исторически же он является следствием правового вакуума, созданного депортацией и лишь частичной реабилитацией ингушского народа. В дни кровопролития погибло около 600



Таблица 3

## Репрессионные принудительные миграции в СССР (данные округлены)

| Год       | Месяц        | Число  | Контингенты                                                    | Кол-во, тыс. чел | Откуда                                                                                                                       | Куда                                                                    |
|-----------|--------------|--------|----------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1920      | 04—10(?)     | 17     | терские казаки                                                 | 45               | 8 станиц Терской линии                                                                                                       | Украина, север европ. части                                             |
| 1922      | 09           |        | философы и дружные                                             | 0.1              | Петроград, Москва и Казань                                                                                                   | Штеттин (Германия)                                                      |
| 1930      |              |        | “социально-опасный элемент” из приграничной полосы УССР и БССР | 18               | 22-километровая зона вдоль западных границ СССР                                                                              | Зап. Сибирь и Дальний Восток                                            |
| 1930      | 02—04        |        | кулаки 1-ой и 2-ой категории                                   | 472              | районы сплошной коллективизации                                                                                              | Сев. край, Урал, Зап. Сибирь                                            |
|           | 03—04, 08—10 |        | кулаки 3-ей категории                                          | 250              | Нижегородский, Нижне- и Средне-Волжский, Северо-Кавказский, Дальневосточный края, Центрально-Чернозем. обл., зап. обл. и др. |                                                                         |
|           | 05—12        |        | кулаки 1-ой и 2-ой категории                                   | 30               | районы сплошной коллективизации                                                                                              | Сибирь, Казахстан                                                       |
| 1931      | 01—02        |        | кулаки 1-ой и 2-ой категории                                   | 45               | приморские и лесные районы Кубани                                                                                            | Ставропольский и Сальский районы Северо-Кавказского края                |
| 1931      | 03—04, 05—09 |        | кулаки 1-ой и 2-ой категории                                   | 1230             | Украина, Сев. Кавказ и др. р-ны масс. коллективизации                                                                        | Урал, Сев. край, Сибирь, Каз.ССР                                        |
| 1932—1933 |              |        | казахи-кочевники                                               | ок.200           | Казахстан                                                                                                                    | Китай, Монголия, Иран, Афганистан, Турция                               |
| 1932      | 11—12        |        | крестьяне (за “саботаж”)                                       | 45               | станции Полтавская (Красноармейская), Медведовская и Урупская                                                                | Сев. край                                                               |
| 1933      |              |        |                                                                | ок. 200          |                                                                                                                              |                                                                         |
| 1935      | 03—05        |        | финны-ингерманландцы                                           | 30 (?)           | Ленингр. обл., погранзона                                                                                                    | Вологодская обл., Тадж.ССР, Каз.ССР, Зап. Сибирь                        |
| 1936      | 05           |        | немцы и поляки                                                 | 45               | погран. р-ны УССР                                                                                                            | Караганд. и др. обл. Каз.ССР                                            |
| 1937      | 07           |        | курды и др.                                                    | 2                | пригран. р-ны Грузии, Армении, Азербайджана, Туркмении, Узбекистана и Таджикистана.                                          | Кирг.ССР, Каз.ССР                                                       |
| 1937      | 09—10        |        | корейцы                                                        | 172              | Спасск, Посыет, Гродеково, Биробиджан, Владивосток, Бурят-Монгольская АССР, Читинская обл.                                   | Каз.ССР (города и поселки северных обл.), Узб.ССР                       |
|           | 09—10        |        | китайцы, русские репатрианты (“харбинцы”) и др.                | 9                | юг Дальнего Востока                                                                                                          | Каз.ССР, Узб.ССР                                                        |
| 1938      | 01           |        | иранцы                                                         | ?                | погран. р-ны Аз.ССР                                                                                                          | Каз.ССР                                                                 |
|           | ?            |        | евреи-ираны                                                    | 6                | Марыйская обл. (Туркм.ССР)                                                                                                   | Северные (пустынные) р-ны Туркм.ССР                                     |
| 1940      | 02           | 10     | поляки                                                         | ок. 140          | зап. части УССР и БССР                                                                                                       | север европ. части СССР, Урал и Сибирь                                  |
|           | 04           | 9 и 13 | поляки                                                         | 61               | зап. части УССР и БССР                                                                                                       | Каз.ССР, отчасти Узб.ССР                                                |
|           | 06           | 29     | беженцы из Польши                                              | 75               | зап. части УССР и БССР                                                                                                       | Север Европ. части, Урал и Сибирь                                       |
|           | 07           | 5—10   | инонациональности                                              |                  | Мурманская обл.                                                                                                              | Карело-Финская АССР, Алтайский край                                     |
| 1941      | 05           | 22     | “контрреволюционеры и националисты”                            | 11               | Зап. Украина                                                                                                                 | Южно-Казахстанская обл., Красноярский край, Омская и Новосибирская обл. |
|           | 06           | 12/13  | “контрреволюционеры и националисты”                            | 30               | Молд.ССР, Черновицкая и Измаильская обл.                                                                                     | Каз.ССР, Коми АССР, Красноярский край, Омская и Новосиб. обл.           |
|           |              | 14     | “контрреволюционеры и националисты”                            | 18               | Литва                                                                                                                        | Алтайский край, Новосиб. обл., Каз.ССР, Коми АССР                       |
|           |              | 14     | “контрреволюционеры и националисты”                            | 17               | Латвия                                                                                                                       | Красноярский край, Новосиб. обл., Каз.ССР (Карагандинская обл.)         |

| Год  | Месяц | Число | Контингенты                                        | Кол-во, тыс. чел                   | Откуда                                                     | Куда                                                                         |
|------|-------|-------|----------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|      |       | 14    | “контрреволюционеры и националисты”                | 10                                 | Эстония                                                    | Кировская, Новосиб. обл.                                                     |
|      |       | 19/20 | “контрреволюционеры и националисты”                | 21                                 | Зап. Белоруссия                                            |                                                                              |
|      | 09    | 03–20 | немцы                                              | 439<br>(всего за 1941–1945 – 1209) | АССР НП <sup>***</sup> , Саратовская и Сталинградская обл. | Каз. ССР, Красноярский и Алтайский края, Новосибирская и Омская обл.         |
|      | 09    |       | финны и немцы                                      | 91                                 | Ленинградская обл.                                         | Красноярский край, Новосибирская и Омская обл., Каз. ССР, Алтайский край     |
| 1942 | 03    |       | финны-ингерманландцы                               | ок. 9                              | Ленингр. обл.                                              | Ирк. обл., Красноярский край, Як. АССР                                       |
| 1943 | 04,07 |       | греки, румыны и др.                                |                                    | Крым, Сев. Кавказ                                          |                                                                              |
|      | 08    | 09    | карачаевцы (“бандглавари” и “активные бандиты”)    | 0.5                                | Карачаево-Черкессия                                        | за пределы области                                                           |
|      | 11    | 02    | карачаевцы                                         | ок. 70                             | Карачаево-Черкессия                                        | Каз. ССР (Южно-Казахстанская и Джамбульская обл.), Кирг. ССР                 |
|      | 12    | 28–31 | калмыки                                            | ок. 93                             | Калмыцкая АССР                                             | Алтайский и Красноярский края, Омская и Новосибирская обл.                   |
| 1944 | 02    | 23–29 | чеченцы (первые эшелоны)                           | 393                                | Чечено-Ингушская АССР, Даг. АССР                           | Каз. ССР, Кирг. ССР                                                          |
|      |       | 23–29 | ингуши (первые эшелоны)                            | 91                                 | Чечено-Ингушская АССР, Владикавказ                         | Каз. ССР, Кирг. ССР                                                          |
|      |       | 08    | балкарцы                                           | 38                                 | Каб.-Балк. АССР                                            | Каз. ССР, Кирг. ССР                                                          |
|      |       | 25    | калмыки                                            | 3                                  | Ростовская обл.                                            | Омская обл.                                                                  |
|      | 05    | 18    | крымские татары                                    | 182                                | Крымская АССР                                              | Узб. ССР                                                                     |
|      | 06    | 04    | калмыки                                            | 1                                  | Сталинградская обл.                                        | Свердловская обл.                                                            |
|      | 05–06 |       | народы Крыма (греки, болгары, армяне, турки и др.) | 42                                 | Крымская АССР                                              |                                                                              |
|      | 05–07 |       | поляки                                             | 26                                 | сев. и вост. р-ны                                          | Европ. часть РСФСР (Саратовская, Воронежская обл., Краснодарский край), УССР |
|      | 06    | 27    | болгары, греки, армяне                             | Ок. 4                              | Крым                                                       | Узб. ССР                                                                     |
|      | 07    |       | истинно-православные христиане                     | 1                                  | Рязанская, Воронежская и Орловская обл.                    | Томская и Тюменская обл., Красноярский край                                  |
|      | 08–09 |       | поляки                                             | ок. 30                             | Урал, Сибирь, Каз. ССР                                     | УССР, Европ. часть РСФСР                                                     |
|      | 11    | 15–17 | турки-месхетинцы, курды и хемшины                  | ок. 92.                            | Груз. ССР                                                  | Узб. ССР, Каз. ССР, Кирг. ССР                                                |
| 1945 | 01    | 25    | “предатели и пособники” из р-на Кавминвод          | 2                                  | Кавминводы                                                 | Тадж. ССР                                                                    |
| 1948 | 05    | 22    | “бандиты и бандпособники” из кулаков               | 49                                 | Лит. ССР                                                   | Красноярский край, Иркутская обл., Бурят-Монгольская АССР                    |
|      | 06    |       | греки, армяне-“дашнаки”                            | 58                                 | Черноморское побережье                                     | Каз. ССР (Ю.-Казахстанская и Джамбульская обл.)                              |
|      | 06    |       | “тунеядцы-указники”                                | 16                                 |                                                            |                                                                              |
|      | 10    |       | кулаки                                             | 1                                  | Измайльская обл.                                           | Томская обл.                                                                 |
| 1949 | 01    | 29    | “бандиты и бандпособники” из кулаков               | 42                                 | Лат. ССР                                                   | Омская обл., Амурская обл.                                                   |
|      | 01    | 29    | “бандиты и бандпособники” из кулаков               | 20                                 | Эст. ССР                                                   | Красноярский край, Иркутская обл.                                            |
|      | 01    | 29    | “бандиты и бандпособники” из кулаков               | 32                                 | Лит. ССР                                                   | Иркутская обл., Красноярский край                                            |
|      |       |       | “бандиты и бандпособники” из кулаков               | 35                                 | Молд. ССР                                                  |                                                                              |
| 1951 | 03    |       | басмачи                                            | 3                                  | Тадж. ССР                                                  | Каз. ССР (Кокчетавская обл.)                                                 |
|      | 10    |       | кулаки                                             | 35                                 | Прибалтика, Молдавия, Зап. Украина, Зап. Белоруссия        | Красноярский край, Якутская АССР, Тюменская обл., Каз. ССР                   |
| 1952 | 03–05 |       | кулаки                                             | 6                                  | Зап. Белоруссия                                            | Иркутская обл., Каз. ССР                                                     |

\* Кулаков разделяли на три категории: 1 – активные враги советской власти, 2 – пассивные враги, 3 – середняки и подкулачники.

\*\* Немцев Поволжья.

человек, а свои дома покинуло практически все ингушское население Пригородного района и самого города Владикавказа: по одним данным, это 37.5 тыс. человек, по другим — 40.3 тыс. Указ Президента РФ о возвращении ингушских беженцев в села совместного проживания фактически выполнен не был. Но самое приискорбное, что распространение и развитие этнотерриториальных конфликтов в СССР вновь привело к этническим депортациям как к средству их кажущегося решения.

Столь масштабные принудительные миграции не могли не оказать заметного влияния на расселение в бывшем Советском Союзе. В свое время резко нарушив или задержав естественный ход демографического развития этносов, они определенно способствовали сдвигу населения в восточном и юго-восточном направлениях. При этом практически все депортированные

народы со временем проявили выдающиеся акклиматизационные способности и сумели приспособиться к новым условиям жизни или приспособить их для себя, найти или создать для себя определенную экономическую нишу и, вопреки статусной дискриминации, дать детям максимально хорошее образование.

Принудительные миграции привели к образованию десятков внутренних диаспор практически у каждого репрессированного народа. С распадом СССР и образованием на его месте 15 независимых стран диаспоры неожиданно приобрели официальный международный статус, что имеет для этих народов как свои отрицательные, так и положительные стороны.

Сегодня очевидно, что уход от взвешенных и исторически оправданных решений чреват самыми серьезными последствиями как экономического, так и политического свойства. Так,

отсутствие удовлетворительного решения проблемы немецкой автономии привело к массовой эмиграции немцев из России и стран Центральной Азии в Германию. Для каждого из этих государств отъезд немецкого населения имеет отрицательное значение, но сдержать его уже вряд ли удастся. К насильственным выселениям восходит и постоянная взрывоопасность осетино-ингушского конфликта, и целый ряд проблем в современных отношениях России и Чечни.

Для любого человека, затронутого депортацией, она стала катастрофой, выпадением из того жизненного круга, в котором каждый себя с детства ощущал, крахом надежд, разлукой с родными местами. Катастрофой депортация была и для народа в целом, поневоле вынужденного прервать свое мирное эволюционное развитие. К сожалению, нельзя не констатировать, что она оказалась катастрофой и для государства. ■

Верховный комиссариат по делам беженцев и Институт исследований по проблемам развития ООН разработали и уже используют на практике методику составления точных и подробных карт лагерей беженцев. Работа с такими картами позволяет быстро и детально взглянуть во внутреннюю организацию лагеря, сложившуюся в ней ситуацию, и на этой базе проводить необходимые мероприятия по оказанию помощи. В 1998 г. данная методика впервые была использована в Кении.

Географические координаты лагеря определяются по Глобальной системе позиционирования объектов. Затем самолет с цифровой видеокамерой на борту совершает облет лагеря и снимает его территорию. Математическое обеспечение обработки видеоинформации позволяет монтировать снимки в кар-

ту без искажений, изменений масштаба и с точностью привязки объектов до 1 м. Таким образом составляется карта, дающая точные расстояния, сведения о рельефе местности, количестве убежищ или строений, населенности лагеря.

Science et Vie. 1999. № 984. P. 36 (Франция).

В октябре 1999 г. ООН и Всемирный банк представили сводный анализ ситуации по снабжению продовольствием стран, расположенных к югу от Сахары. К 2025 г., когда население этих стран составит 1 млрд человек, обеспечить их продовольствием окажется возможным только на 40%. В настоящее время 550 млн человек 48 стран "под Сахарой" обеспечиваются только на 70%. Плодородие здешних земель неуклонно снижается. Почвы истощаются в результате их размывания водами (46%), ветро-

вой эрозии (38%), нерационального применения химических удобрений (12%), их уплотнения при продолжительном выпасе домашних животных (4%). Environmental Science and Technology. 2000. V. 34. № 1. P. 17A (США).

В 1996 г. молодая французская альпинистка Лоранс де ла Феррьер (Laurence de la Ferriere) совершила в одиночку путешествие по Антарктиде. В 2000 г. она намерена пройти по еще никем не освоенному маршруту от Южного полюса (научная база США Амундсен-Скотт) к побережью Земли Адели протяженностью 3000 км. На этом пути она предполагает не только любоваться прекрасными пейзажами Южного материка, но и вести отбор проб снега и льда, представляющих интерес для гляциологов и палеоклиматологов. Sciences et Avenir. 1999. № 634. P. 40 (Франция).



# Взаимодействующие галактики



В.П.Решетников

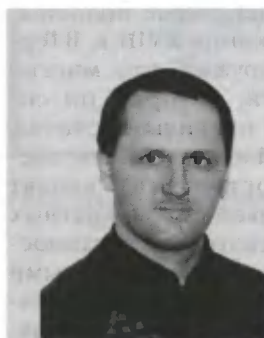
*...Эти пятнышки, имеющие часто вид завитушек и называемые потому спиральными туманностями, не что иное, как отдаленные млечные пути, подобные нашему.*

К.Э.Циолковский

**Г**алактики — это основные структурные “кирпичики” Вселенной, которые содержат почти все ее вещество, излучающее в видимой области спектра. Именно в галактиках рождаются, живут и умирают звезды; вокруг них в свою очередь формируются планетные системы. В одной из таких планетных систем, расположенной около типичной звезды на периферии обычной галактики, находится и наша Земля.

Внешний вид и свойства галактик очень разнообразны. Их массы варьируют от  $\sim 10^7 M_\odot$  до  $\sim 10^{13} M_\odot$  (масса Солнца  $M_\odot = 2 \cdot 10^{33}$  г), размеры — от нескольких сотен парсек до сотен килопарсек ( $1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{16}$  м). Галактики по внешнему виду принято делить на три группы: эллиптические E (сглаженные бесструктурные системы эллипсоидальной формы), спиральные S (с развитыми спиральными ветвями) и irregулярные Irr (хаотической, неправильной формы). Характерные примеры галактик трех типов приведены на рис.1.

Галактики — очень сложные системы. Помимо звезд,



**Владимир Петрович Решетников**  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник Астрономического института С.-Петербургского государственного университета.  
Область научных интересов — происхождение и эволюция галактик, их взаимодействие.

они содержат значительное количество газа (как атомарного, так и молекулярного) и пыли; их пространство пронизано космическими лучами и магнитными полями. Исследования последних десятилетий показали, что галактики

гораздо массивнее, чем предполагалось ранее. Детальное изучение вращения и устойчивости их различных подсистем привело к выводу, что там содержится вещество в еще ненаблюдаемой форме. Так возникло представление

© В.П.Решетников

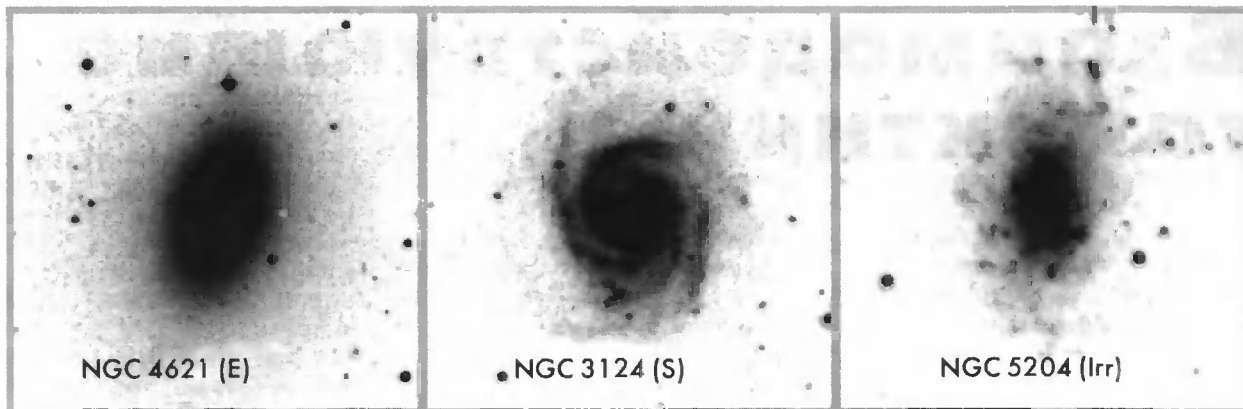


Рис.1. Примеры галактик разных морфологических типов: эллиптическая, спиральная и неправильная (слева направо).

о массивных невидимых (темных) гало, окружающих галактики. Темные гало по своим размерам гораздо более протяженны, чем погруженные в них галактики, и могут содержать основную часть их массы. Природа этой скрытой массы еще не установлена.

Галактики как отдельные, изолированные от других, звездные системы были открыты в двадцатых годах нашего века Э.Хабблом. С тех пор считалось, что это своего рода "островные вселенные", формирующиеся и эволюционирующие практически в полной изоляции, без всякого контакта друг с другом<sup>1</sup>. Наблюдаемое же многообразие форм и свойств галактик относили за счет разных начальных условий на стадии их формирования.

## Галактики взаимодействуют!

Видимое распределение галактик очень неоднородно. Они, как и люди, не любят

одиночества и предпочитают объединяться в пары, группы и скопления с себе подобными. Еще в конце XVIII в. В.Гершель обнаружил, что многие туманности, которые он совершенно правильно считал, подобно Млечному Пути, звездными островами, входят в состав двойных и кратных систем. Некоторые туманности оказались даже связанными слабосветящимися перемычками. В первой половине нашего века Э.Хаббл и В.Бааде держали пари на 20 долларов, кто первый докажет, что найденная им галактика — одиночная. Пари никто не выиграл, так как всегда по соседству оказывалась другая, которая могла быть физически связанным спутником.

Взаимодействующие галактики начали систематически наблюдать в 50-е годы Э.Хольмберг, Б.А.Воронцов-Вельяминов, Ф.Цвикки и Х.Арп. Однако вплоть до 70-х годов, когда развитие теории и компьютерной техники позволило создать реалистические модели гравитационного взаимодействия галактик, эти объекты не привлекали широкого внимания. Интересно отметить, что первая успешная попытка моделирования тесного сближения галактик была осуществлена

еще в 1941 г. Шведский астроном Хольмберг, воспользовавшись тем, что освещенность от источника уменьшается, как и гравитационная сила, обратно пропорционально квадрату расстояния до наблюдателя, рассмотрел относительное движение двух галактик, каждая из которых была представлена набором подвижных лампочек. Измеряя в разных точках модельной галактики освещенность с помощью фотоэлемента, Хольмберг перемещал лампочки в соответствии с неоднородностями такого "гравитационного" поля. С помощью столь нестандартного подхода он предвосхитил некоторые результаты, полученные гораздо позднее с помощью компьютерного моделирования. В 1972 г. появилась работа братьев Тумре, в которой было наглядно показано, что морфологические особенности галактик естественным образом могут быть объяснены гравитационным взаимодействием между ними. Эта работа послужила основой для нового подхода к проблеме формирования структуры современных галактик. Согласно этому подходу, не начальные условия, а последующая эволюция галактики, в ходе которой она активно взаимодейст-

<sup>1</sup> Часто используемое в популярной литературе сравнение с островами довольно удачно. Океанские острова — гигантские подводные горы, у которых над поверхностью воды возвышается лишь верхняя относительно небольшая часть. Так и у галактик непосредственным наблюдениям доступна лишь часть вещества, возможно, меньшая.

вует со своим окружением (другими галактиками, карликовыми спутниками, межгалактической средой), определяет ее характеристики. Один из братьев — А.Тумре — даже высказал предположение, что все эллиптические галактики возникли при слиянии спиральных (это предположение получило название “гипотеза слияний”). Сейчас считается, что и начальные условия, и последующая эволюция влияют на свойства галактик, однако соотношение между этими факторами остается пока неизвестным.

В близкой к нам области Вселенной взаимодействующие галактики довольно редки. Если основываться на видимых признаках взаимодействия, говорящих о сильном внешнем гравитационном возмущении (заметной асимметрии структуры, наличии протяженных линейных образований — “хвостов” и перемычек, — оболочек и т.п.), то к таким объектам можно отнести лишь каждую десятую или двадцатую галактику (рис.2,3). В более ранние эпохи, однако, процессы взаимодействия между ними могли быть гораздо более интенсивными.

## Почему это интересно

Астрономия — наука, основанная на наблюдениях. Астрономы лишены возможности ставить эксперименты, как, к примеру, физики, сталкивающие в ускорителях потоки заряженных частиц, или биологи, вмешивающиеся в структуру генов. Однако исследование взаимодействующих галактик дает удивительную возможность детально изучить результаты экспериментов по столкновению гигантских звездных систем, которые ставит сама природа. Здесь мы имеем дело с одними

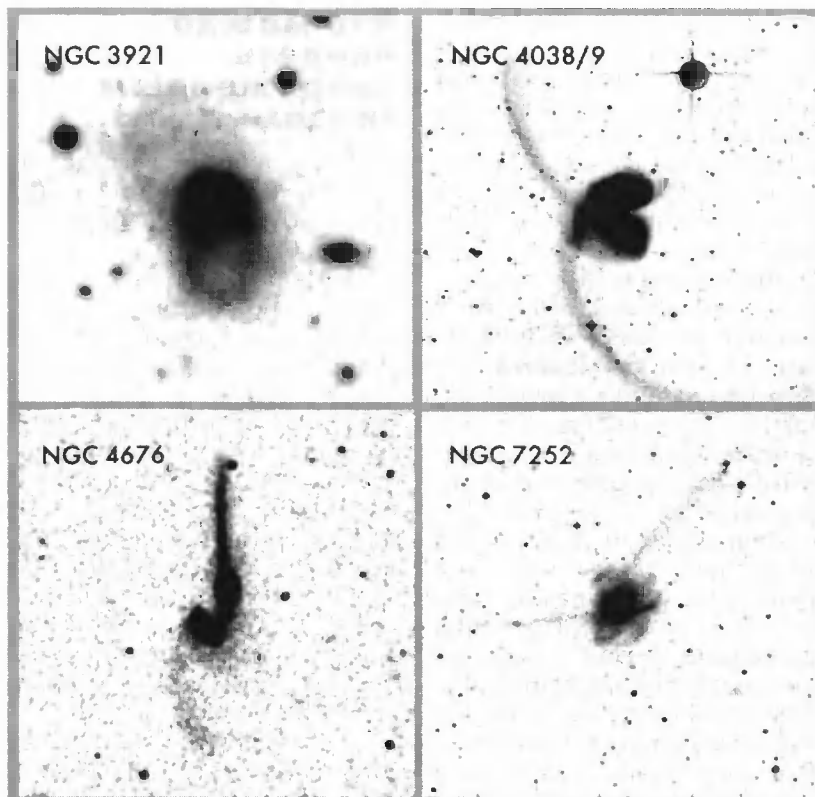


Рис.2. Примеры взаимодействующих и сливающихся галактик.

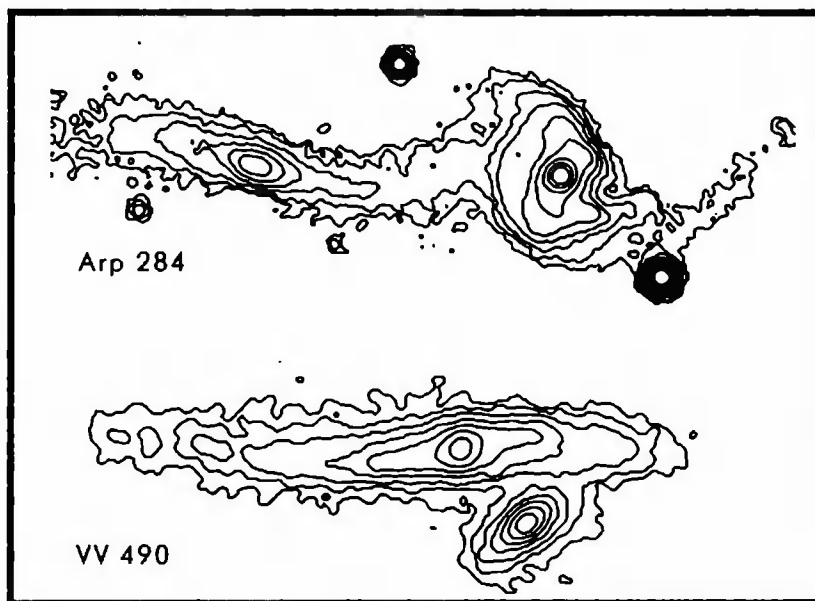


Рис.3. Контурные карты двух двойных взаимодействующих систем, которые построены по их изображениям, полученным на 1.2-метровом телескопе Обсерватории Верхнего Прованса. Диски видимых почти “с ребра” спиральных галактик демонстрируют крупномасштабные изгибы своих плоскостей.



из самых грандиозных процессов во Вселенной, и именно они, как считается, могут приводить к рождению объектов и явлений совершенно нового типа (квазаров, радиогалактик, сверхмощных источников инфракрасного излучения, гамма-всплесков и т.д.). Кроме того, при гравитационном возмущении различные подсистемы галактик (темное гало, газовый и звездный диски и т.д.) начинают играть активную роль (например, поглощать энергию) и, следовательно, дают о себе новую информацию.

Изменение представлений об эволюции галактик, произошедшее в последние годы, делает задачу исследования взаимодействующих галактик одной из наиболее интересных в современной астрономии. Например, в составленном несколько лет назад А.Сендиджем списке 23 наиболее актуальных на последующие 30 лет проблем астрономии под первым номером стоит вопрос о том, определяется ли структура нормальных (т.е. имеющих вполне симметричный, неискаженный вид) галактик их эволюцией или же — начальными условиями при их формировании. Вопрос о роли слияний между галактиками А.Сендидж выделил в отдельную (седьмую) проблему в своем списке.

Наши работы ставят целью выяснить, как внешнее гравитационное возмущение и перенос массы влияют на глобальную структуру галактик. Этот вопрос изучен относительно слабо, что, возможно, связано с большим разнообразием форм взаимодействующих галактик и, следовательно, с трудностями в поиске закономерностей. Другой важный вопрос: действительно ли взаимодействия были гораздо более частыми в прошлом, как это предсказывается современными теориями формирования галактик?

## Что можно увидеть вооруженным глазом

При первом взгляде на снимки взаимодействующих галактик (рис.2, 3) поражает многообразие и причудливость форм. Эти объекты мало напоминают нормальные, относительно изолированные галактики, показанные на рис.1. Чтобы сравнить их структуру со строением нормальных, симметричных галактик, нужно усреднить наблюдаемое распределение их поверхностной яркости. Выполнив такое усреднение (для этого существуют разные способы), можно построить сглаженное распределение яркости даже для объектов с выраженными особенностями.

Наблюдаемое распределение поверхностной яркости у нормальных галактик можно описать в первом приближении двумя эмпирическими законами. Эллиптические галактики хорошо представляются так называемым законом Воккера  $I(r) \sim -r^{-1/4}$ , где  $r$  — расстояние от центра галактики, а диски спиральных галактик — простым экспоненциальным законом  $I(r) \sim -r$ . Спиральные галактики, как правило, — двухкомпонентные системы: в их структуре выделяют центральную конденсацию (балдж), описываемую законом Воккера, и “экспоненциальный” диск. Балджи и диски галактик имеют много существенных различий и, как считается, могут иметь разное происхождение.

Для анализа структуры взаимодействующих галактик мы получили изображения 24 тесных взаимодействующих систем, состоящих из нескольких явно разделенных, т.е. еще не слившихся, галактик<sup>1</sup> (примеры таких систем

показаны на рис.3). Наблюдения были проведены на 1.2-метровом телескопе Обсерватории Верхнего Прованса (Франция). Общие фотометрические характеристики балджей взаимодействующих спиралей оказались близки к таковым у балджей нормальных галактик. Диски взаимодействующих спиральных галактик отличаются повышенной (примерно в 2—3 раза) поверхностной яркостью по сравнению с изолированными. Эту особенность можно объяснить усиленным темпом звездообразования в дисках взаимодействующих галактик. Наблюдения другого рода (например, анализ инфракрасного излучения) уже приводили ранее к подобным заключениям. Причины ускорения звездообразования при гравитационном возмущении галактик до конца неясны (усиление этого процесса в дисках часто объясняется, например, ростом частоты столкновений облаков молекулярного газа).

При взаимодействии галактик часть энергии орбитального движения переходит в их внутреннюю энергию. Как ясно из общих соображений, это должно приводить, в частности, к увеличению дисперсии скоростей звезд и к “разбуханию” звездных дисков. Мы рассмотрели оптическую структуру видимых “с ребра” взаимодействующих галактик и нашли, что их диски, действительно, имеют примерно в два раза большие относительные толщины (т.е. отношения вертикальных и радиальных масштабов распределения поверхностной яркости), чем диски обычных спиральных галактик<sup>2</sup>. Через два года этот результат был подтвержден группой немецких исследователей<sup>3</sup>. Эффектив-

<sup>1</sup> Евстигнеева Е.А., Решетников В.П. // Письма в “Астрон. журн.”. 1999. Т.25. №9. С.673—683.

<sup>2</sup> Reshetnikov V., Combes F. // Astron. and Astrophys. 1997. V.324. №1. P.80—90.  
<sup>3</sup> Schwarzkopf U., Dettmar R.-J. // Astrophysics and Space Science. 1999. V.265. Issue 1/4. P.479—480.

ность приливного “разогрева” звездных дисков зависит от многих факторов, и в частности от соотношения видимой и скрытой масс в галактиках. Поэтому сравнение наблюдаемого эффекта с результатами численных расчетов (они пока, к сожалению, отсутствуют) могло бы дать новый подход к изучению скрытой массы.

## Звездные диски изгибаются

Газовые диски большинства спиральных галактик (включая Млечный Путь) изогнуты так, что, если смотреть на них “с ребра”, они напоминают знак интеграла. Изгиб обычно начинается во внешних областях галактик (там, где звездная плотность очень мала), и поэтому до недавнего времени данных о таких изгибах было весьма мало. В тех же случаях, когда есть информация об искривлении газового и оптического дисков, изгибы, прослеженные по двум подсистемам, почти совпадают, что позволяет думать об их общем происхождении.

С теоретической точки зрения искривление дисков у галактик все еще остается, по выражению Дж.Бинни, “захватывающей головоломкой”. Объяснить их возникновение и сохранение пытались приливным взаимодействием галактик, аккрецией вещества из межгалактического пространства на периферийные области дисков, действием межгалактического магнитного поля и др. Однако до сих пор ни один из предложенных механизмов так и не стал общепринятым. Основная причина такого положения — очевидный недостаток данных наблюдений, поскольку в радио- и оптическом диапазонах было изучено лишь несколько десятков видимых “с ребра” галактик.

Предположив, что пространственное окружение должно влиять на формирование изгибов галактик, мы решили исследовать вопрос: как часто встречаются изогнутые диски в областях с разной пространственной плотностью галактик? Ведь в большинстве случаев, когда спиральная галактика входит в состав взаимодействующей системы, ее оптический диск изогнут (рис.3). Используя “Цифровой обзор неба” — созданное в Институте космического телескопа (Space Telescope Science Institute, Балтимор, США) электронное изображение почти всей небесной сферы, — мы исследовали 540 видимых “с ребра” спиральных галактик и их ближайшее окружение. Оказалось<sup>5</sup>, что около 40% из них имеют интегралоподобное искривление своих плоскостей с максимальным наблюдаемым отклонением края диска от плоскости более 2°. Учитывая, что изгиб плоскости заметен при условии, что линия, вдоль которой диск изогнут, близка к лучу зрения, эту оценку можно примерно удвоить. Итак, диски большинства спиральных галактик изогнуты, и эта их особенность столь же фундаментальна, как, например, наличие спиральной структуры. Выяснилось также, что встречаемость галактик с искривленными дисками зависит от пространственного окружения: они доминируют среди взаимодействующих галактик (50—60%), очень часты среди галактик с близкими спутниками (30—40%) и относительно редки среди изолированных (20%). С другой стороны, пространственная плотность галактик вокруг спиралей с изогнутыми дисками существенно (примерно в пять раз) превышает соответствующее значение для тех, у которых нет признаков изгиба.

<sup>5</sup>Reshetnikov V., Combes F. // Astron. and Astrophys. 1998. V.337. №1. P.9—16.

Эти результаты заметно ограничивают набор моделей, пытающихся объяснить искривление дисков. Приливное взаимодействие и внешняя аккреция, вероятно, основные механизмы рассматриваемого явления.

## Галактики окружены кольцами

Герой рассказа Андрея Платонова “Лунная бомба” воскликнул: «Видите или нет вы катастрофу на Млечном Пути: там шумит поперечный синий поток. Это не туманность и не звездное скопление...» Спустя 70 лет эту катастрофу увидели. Это действительно была не туманность и не скопление, а целая галактика (хотя и карликовая), разрушаемая приливными силами Млечного Пути<sup>6</sup>. Карликовая галактика в Стрельце (ее стандартное обозначение Sgr I) наряду с другими подобными объектами входит в свиту нашей Галактики. Уникальность состоит в том, что Sgr I находится практически внутри нее, на расстоянии 16 кпк от ее центра. Приливное воздействие Галактики вытянуло Sgr I в колоссальную дугу длиной около 30 кпк, сравнимой с диаметром Галактики. Эта дуга почти перпендикулярна плоскости Млечного Пути.

По-видимому, все массивные галактики окружены системами небольших спутников. Значит, у других галактик тоже могут наблюдаться структуры, подобные Sgr I. Рост технических возможностей и регистрация более низких уровней поверхностной яркости, вероятно, позволят обнаруживать остатки этих разрушающихся спутников. Первым примером такого рода стала галактика NGC 5907. В 1998 г.

<sup>6</sup>Ibata R.A., Gilmore G., Irwin M.F. // Nature. 1994. V.370. №6486. P.194—196.

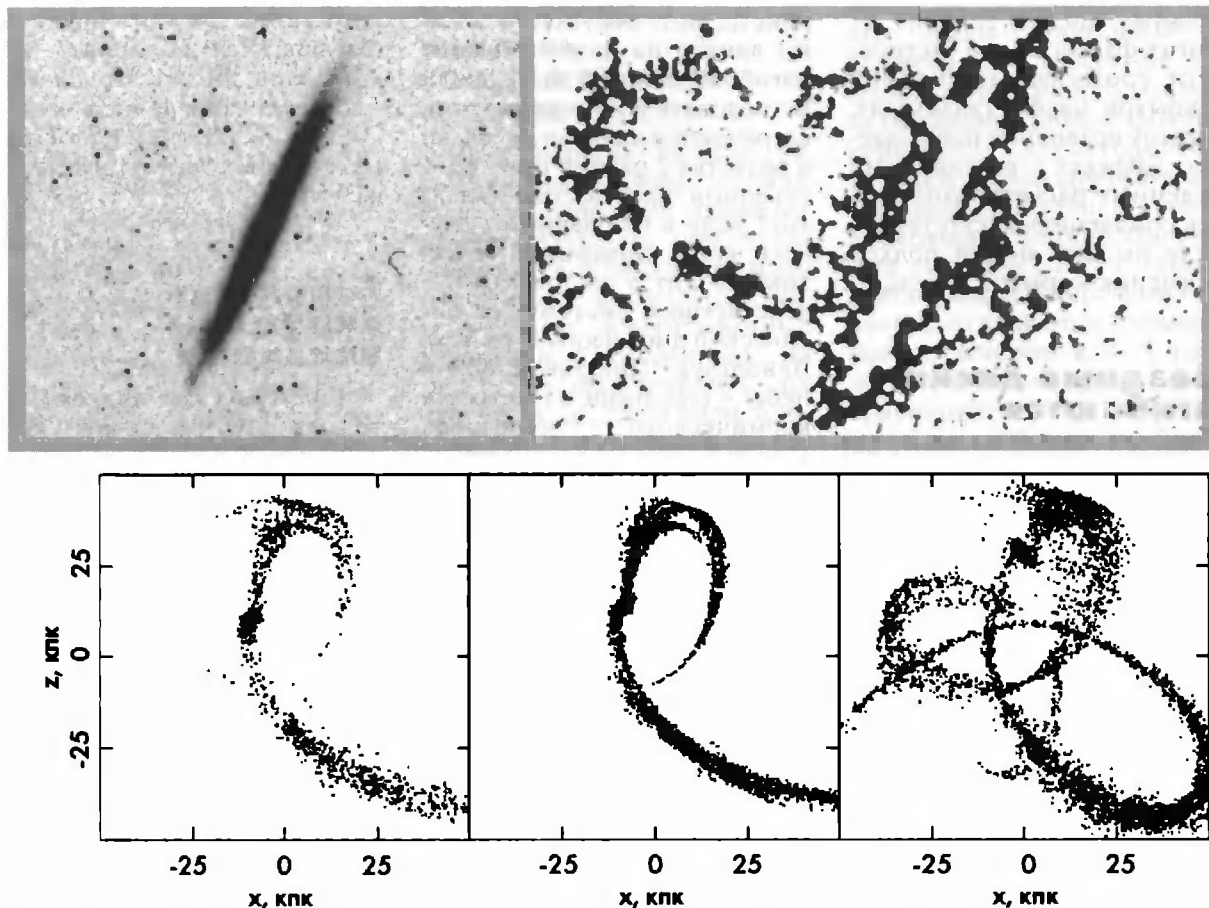


Рис.4. Структура галактики NGC 5907. Вверху слева — оптическое изображение NGC 5907, справа — изображение слабых внешних областей галактики (снимок предоставлен д-ром Ж.Шангом, США). Для повышения контраста все фоновые звезды, а также яркая центральная область NGC 5907 с изображения удалены. Внизу — результаты моделирования кольцеобразной структуры, образовавшейся при разрушении спутника возле NGC 5907. Предполагается, что главная галактика видна "с ребра", ее центр совпадает с началом координат. Первый кадр слева соответствует модели сферического спутника через 1.4 млрд лет после первого прохождения перигалактики (точки орбиты, ближайшей к притягивающему центру); два последующих — это ранняя (1.4 млрд лет) и поздняя (3.5 млрд лет) стадии кольца для модели дискового спутника.

группа китайских и американских астрономов обнаружила слабую петлеобразную структуру, состоящую из звезд и охватывающую галактику вдоль малой оси (рис.4). Авторы предположили, что петля образована остатками карликового спутника, разрушающегося в гравитационном поле спиральной галактики.

Чтобы это проверить, мы численно промоделировали разрушение спутника, движущегося в полярной плоскости

массивной галактики<sup>7</sup>. В качестве модели для описания спутника брали 50—100 тыс. самогравитирующих частиц (взаимодействующих друг с другом). Выбор массы спутника ( $2-5 \cdot 10^8 M_\odot$ ) был ограничен данными об оптической светимости кольцеобразной структуры, которая не превышает 1% полной светимости

<sup>7</sup> Решетников В.П., Сотников Н.Я. // Письма в "Астрон. журн.". 2000. Т.26. №5. С.333—341.

NGC 5907. Примеры результатов приведены на рис.4. Как видно на рисунке, наблюдаемая у NGC 5907 кольцеобразная структура вполне может появиться на относительно ранней стадии разрушения карликовой галактики. Детальное сравнение с разными моделями спутника показало, что структура звездной петли лучше объясняется, если предположить, что спутник был дисковым, а не сферическим (конденсация в петле — это

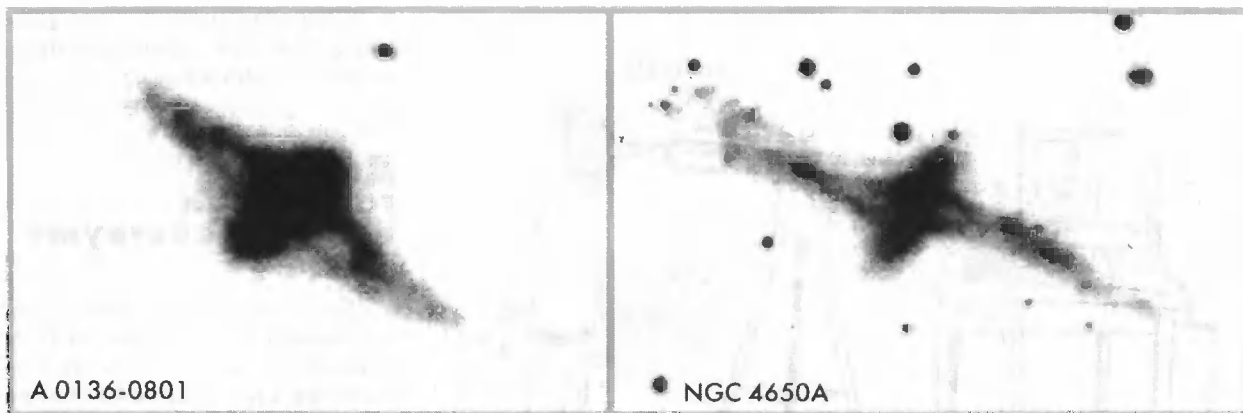


Рис.5. Две галактики с полярными кольцами. Центральные галактики в этих объектах, имеющие эллипсоидальную форму, вращаются вокруг своих малых осей, протяженные дискообразные структуры — вокруг больших осей центральных галактик. Таким образом, в этих объектах сосуществуют две почти ортогональные крупномасштабные кинематические подсистемы.

остаток плотного ядра спутника). Кроме того, оказалось, что форма получающейся при разрушении спутника петли зависит от характеристик темного гало NGC 5907. Следовательно, уже сама морфология кольцеобразной детали (например, ее видимая сплюснутость) может дать ограничение на массу невидимого гало галактики. В случае NGC 5907 мы получили: в пределах оптической петли вклад скрытой массы в 3—4 раза превышает вклад «светящейся».

NGC 5907 демонстрирует судьбу упавшего на массивную галактику небольшого спутника. А что будет, если на галактику упадет более массивный спутник или она захватит значительную часть вещества приблизившейся галактики? В этих случаях могут возникнуть удивительные объекты, называемые галактиками с полярными кольцами (рис.5). По выражению П.Шехтера, они напоминают «остатки автомобильной аварии, не убранные с шоссе». И в самом деле, слияние галактик — это относительно быстрый процесс, приводящий за время,

не превышающее 1 млрд лет, к формированию единого объекта (как правило, эллиптической галактики). В случае галактик с полярными кольцами благодаря уникальной геометрии взаимодействия и особым характеристикам взаимодействующих галактик образуется объект, в котором длительно сосуществуют остатки обеих участниц. Центральная часть таких объектов обычно лишена газа, который целиком (его масса превышает  $10^9 M_\odot$ ) связан с полярной кольцевой структурой.

### Кольца указывают на темные гало!

Руководствуясь этими результатами наблюдений, мы смоделировали процесс пролета богатой газом спирали в полярной плоскости свободной от газа основной галактики<sup>8</sup>. Оказалось, что в процессе тесного контакта основная га-

лактика может захватить около 10% газа галактики-донора и этот газ за время  $\sim 10^9$  лет образует в ее полярной плоскости кольцевую структуру. Обилие газа в кольце порождает звездообразование, и кольцо становится видимым в оптическом диапазоне. В ходе расчетов удалось также впервые выявить зависимость между размером аккреционного кольца и структурными параметрами центральной галактики, в частности массой темного вещества. Мы нашли, что существование очень протяженных полярных колец, подобных показанному на рис.5, можно объяснить только в том случае, если центральные галактики обладают массивными темными гало. Этот вывод подтверждается и кинематическими исследованиями конкретных галактик с полярными кольцами (изучением движения газа и звезд на основе спектральных наблюдений).

Темные гало галактик играют важную роль при формировании не только аккреционных кольцевых структур, но и протяженных приливных образований. Группа аме-

<sup>8</sup> Reshetnikov V., Sotnikova N. // Astron. and Astrophys. 1997. V.325. №3. P.933—942.



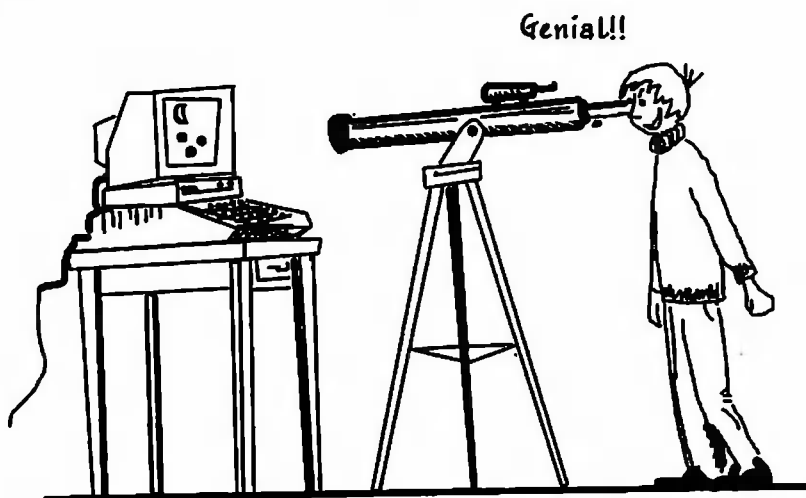


Рис.6. Так французский астроном Ж.Патюрьель изобразил специфику современной астрономии. Наблюдения, проводимые на крупнейших наземных и космических инструментах, хранятся в специальных электронных архивах, где они доступны по компьютерным сетям всем астрономам. Поэтому "наблюдать" на лучших телескопах можно, сидя за компьютером. Печатается с разрешения автора рисунка.

риканских астрономов<sup>9</sup> недавно показала, что морфологические характеристики приливных "хвостов" взаимодействующих галактик, в частности их протяженность, определяются помимо параметров пролета еще и массой и распределением скрытого вещества.

Этот вывод был подкреплен и нашим исследованием: на примере знаменитой двойной взаимодействующей системы "Мышки" (NGC 4676 на рис.2) мы продемонстрировали, что морфологию и кинематику протяженного, почти прямолинейного "хвоста" нельзя объяснить без привлечения массивных гало, окружающих обе участвующие во

взаимодействии галактики<sup>10</sup>. На 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН (пос.Нижний Архыз, Карачаево-Черкесия) были получены уникальные спектральные данные, согласно которым на протяжении более 40 кпк от ядра галактики лучевые скорости излучающего газа в "хвосте" остаются очень большими (примерно 300 км/с по отношению к ядру). С помощью численного моделирования мы нашли, что согласия с данными наблюдений можно достичь только в том случае, если допустить наличие у галактик системы массивных темных гало (с отношением массы гало к массе галактики

в пределах оптического размера "хвоста", равным примерно четырем).

## Далекie галактики взаимодействуют чаще

Как уже упоминалось, в близкой к нам области Вселенной в состав взаимодействующих систем входит лишь 5—10% галактик. Предполагается однако, что в прошлом их концентрация могла быть значительно больше (хотя бы из-за того, что средняя плотность Вселенной была выше и, следовательно, средние расстояния между галактиками были меньше). Рост темпа взаимодействий галактик — количества их тесных сближений за единицу времени в единице объема — с увеличением красного смещения<sup>11</sup>  $z$  предсказывается и современными теориями образования галактик. Так, например, в рамках теории иерархического сгущивания галактики образуются за счет множественных слияний объектов меньших масс. Следовательно, непосредственное измерение темпа взаимодействий и слияний галактик при разных  $z$  — это очень важный тест для проверки справедливости современных представлений.

При умеренных  $z$  рост темпа слияний галактик обычно считают пропорциональным  $(1+z)^n$ . Современные оценки  $n$  варьируются в очень широком диапазоне — от 1 до 6. Причины столь большого разброса — разного рода эффекты селекции, а также исполь-

<sup>11</sup> В рамках теории расширяющейся Вселенной величина красного смещения  $z$  (относительное увеличение длин волн линий в спектре движущегося источника по сравнению с эталонным спектром из-за эффекта Доплера) характеризует расстояние до объекта. В настоящее время обнаружены галактики с  $z=5-6$ . Их "видимый" возраст составляет лишь несколько процентов от современного возраста Вселенной.

<sup>9</sup> Dubinski J., Mihos J.C., Hernquist L. // *Astrophys. J.* 1996. V.462. №2. P.576—593.

<sup>10</sup> Решетников В.П., Сотникова Н.Я. // *Письма в "Астрон. журн."*. 1998. Т.24. №2. С.97—108.

зование для оценки  $m$  косвенных методов. Мы решили сравнить в локальной Вселенной ( $z < 0.05$ ) и при  $z \sim 1$  (при этом красном смещении объекты видны такими, какими были  $\approx 7$  млрд лет назад, т.е. когда Вселенная была примерно вдвое моложе) долю галактик, которые были бы легко узнаваемы и структура которых очевидным образом объяснялась бы процессами взаимодействия или слияния. В качестве таких объектов мы решили рассмотреть галактики с протяженными приливными "хвостами" (см. для примера NGC 4038/9, NGC 4676, NGC 7252 на рис.2). Известно, что "хвосты" образуются при тесных сближениях галактик сравнимых масс, и поэтому их наличие — надежный индикатор недавнего гравитационного возмущения. Приливные структуры имеют очень низкие поверхностные яркости, но, как показали простые оценки, они могут наблюдаться по крайней мере до  $z \sim 1$ .

Чтобы проанализировать, как часто попадают галактики с приливными структурами, мы рассмотрели Глубокие Поля (ГП) — северное и южное, — которые недавно наблюдались Космическим телескопом им.Хаббла. ГП — это хранящиеся в Институте космического телескопа и открытые для свободного использования (рис.6) изображения сверхдалеких объектов на двух небольших площадках, находящихся в Северном и Южном полушариях. В настоящее время ГП — самые глубокие наши "проколы" во Вселенную.

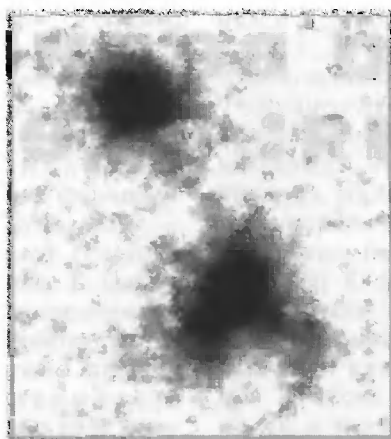


Рис.7. Взаимодействующая двойная система, наблюдавшаяся в северном ГП Космическим телескопом им.Хаббла, с  $z \sim 4$ . Угловое расстояние между галактиками  $\approx 1.2''$  (или примерно 10 кпк).

В этих полях видны объекты со звездными величинами до  $29^m - 30^m$  (крупнейшие наземные телескопы проигрывают в этом на несколько единиц). Кроме того, внеатмосферные наблюдения позволили увидеть внегалактические объекты в ГП с угловым разрешением  $\sim 0.1''$ , что также в несколько раз превышает лучшие наземные возможности.

На кадрах с ГП мы систематически искали объекты с приливными структурами<sup>12</sup>. Всего мы выделили более 70 галактик с "хвостами" в двух Полях (одна из найденных сверхдалеких двойных систем

показана на рис.7). В интересующем нас диапазоне красных смещений ( $z = 0.5 - 1.5$ ) оказалось 25 таких объектов. Интегральные фотометрические характеристики предполагаемых приливных образований у этих 25 галактик были близки к характеристикам "хвостов" у близких взаимодействующих галактик. Для найденных объектов мы определили, что пространственная плотность галактик с приливными "хвостами" при  $z \leq 1$  растет как  $(1+z)^m$ , где  $m = 4$ . (Это значение получено для модели Вселенной со средней плотностью, гораздо меньшей критической<sup>13</sup>. Для Вселенной, средняя плотность которой равна критической, значение  $m$  увеличивается до 5.) Итак, наши результаты свидетельствуют о быстром росте темпа взаимодействий галактик с  $z$  и согласуются с предсказаниями современных теорий.

В настоящее время уже ясно, что гравитационные взаимодействия и обмен массой между галактиками были очень важными факторами в их эволюции. Поэтому детальное изучение взаимодействующих галактик представляет замечательную возможность увидеть те процессы, которые, возможно, происходили на ранних стадиях формирования галактик и привели к наблюдаемому многообразию их свойств. ■

<sup>12</sup> Reshetnikov V. // Astron. and Astrophys. 2000. V.353. №1. P92—96.

<sup>13</sup> Критическая плотность — важнейший космологический параметр: если средняя плотность вещества во Вселенной меньше этой величины, то расширение Вселенной будет продолжаться бесконечно, а если больше — расширение через некоторое время сменится сжатием.

# Хроника великого открытия: идеи и лица

Лекторий

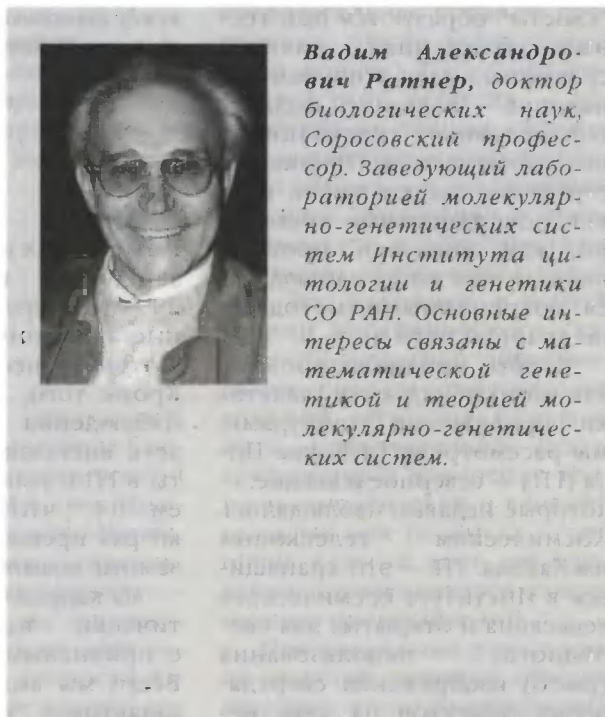
В.А.Ратнер

После того как Дж.Уотсон и Ф.Крик расшифровали молекулярную структуру генов, главным оставался вопрос о генетическом коде. Первым эту проблему сформулировал Г.А.Гамов, что послужило основой для теории генетического кода. Однако попытки его расшифровки оказались почти безрезультатными. Излюбленный прием физиков-теоретиков — рассмотреть множество мыслимых вариантов на все случаи жизни — не принес успеха. Как выразился потом Крик, «к 1959 г. проблема кодирования была в упадке»<sup>1</sup>. На вопрос корреспондента газеты, когда будет решена проблема генетического кода, крупнейший советский молекулярный биолог В.А.Энгельгардт ответил: лет через пятьдесят. Задача, действительно, была трудной, но не безнадежной. Вопреки предсказанию, это стало ясно уже через один-два года, когда были нащупаны экспериментальные подходы к ее решению.

## “Гены — это атомы наследственности”

Этими словами в 1961 г. американский генетик С.Бензер начал свою итоговую Гарвеевскую лекцию о внутренней структуре гена<sup>2</sup>. Проследим, как развивалось это представление.

Г. Мендель: признаки контролируются дискретными наследственными факторами.  
В. Иоганнсен: менделевские дискретные



*Вадим Александрович Ратнер, доктор биологических наук, Соросовский профессор. Заведующий лабораторией молекулярно-генетических систем Института цитологии и генетики СО РАН. Основные интересы связаны с тематической генетикой и теорией молекулярно-генетических систем.*

<sup>1</sup> Crick F.H.C. // The Genetic Code / Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biology. 1966. V.31. P.3—9.

<sup>2</sup> Бензер С. Тонкая структура гена // Молекулярная генетика. М., 1963. С.11—32.

факторы “заочно” названы генами. Т. Морган: гены — неделимые частицы генома, занимающие свое место в хромосоме и на генетической карте, способные контролировать признаки, мутировать и удваиваться. А.С.Серебровский и Н.П.Дубинин: гены имеют сложную внутреннюю функциональную структуру. Н.К.Кольцов: гены — это боковые радикалы аминокислот (гипотеза). Н.В.Тимофеев-Ресовский, К.Циммер, М.Дельбрюк: ген — это гетерогенная макромолекула, имеющая внутреннюю структуру. Дж.Бидл и Э.Тейтум: гены контролируют структуру белков. Э.Шредингер: ген — это макромолекула, несущая в себе “шифровальный код”, запись наследуемого свойства. О.Эвери: материальный носитель генов — ДНК. Дж.Уотсон и Ф.Крик: ген — это линейная последовательность мономеров двухцепочечной ДНК. Г.А.Гамов: ген — это линейная последовательность символов четырехбуквенного алфавита нуклеотидов, т.е. генетический текст, кодирующий первичную структуру белка. Дж.Понтекорво: ген — единица функции (цистрон), мутирования (мутон) и рекомбинирования (рекон).

Продолжил этот восходящий ряд Бензер. Его, еще студента-физика, как и сотни других, впечатлила книга Э.Шредингера “Что такое жизнь с точки зрения физики?”. В 1949 г., поступив в аспирантуру по биологии в Окридж, он получил возможность работать в лабораториях С.Лурии или М.Дельбрюка. По совету Дж.Уотсона, тогда тоже студента, Бензер выбрал лабораторию в Калифорнийском технологическом институте, возглавляемую Дельбрюком, который через год послал своего аспиранта в Париж, в Институт Пастера, к известному специалисту по фагам А.Львову. *«Впервые я открыл феномен *rII* в Париже, но тогда не оценил его значения... Когда я вторично столк-*

*нулся с феноменом *rII*, мой ум был уже подготовлен... Это была система со свойствами высокого генетического разрешения»<sup>1</sup>.*

Иначе говоря, Бензер обнаружил условную летальность мутаций *rII* фага T4 при его размножении на различных штаммах бактерии-хозяина. На *E.coli B* жизнеспособные *rII*-мутанты ускоренно размножались, убивая бактерий; их можно было размножать и поддерживать. На *E.coli K12* мутанты не размножались совсем — были летальны; их можно было скрещивать и отбирать, т.е. вести удобный анализ при помощи классических генетических методов — теста функциональной комплементарности и метода рекомбинационного картирования. *«Разрешающая способность (рекомбинаций — ВР.) должна была быть достаточной для разделения мутаций, даже если бы они не были локализованы в смежных нуклеотидных сайтах (участках. — ВР.). Другими словами, это была система, где, как позже выразился Дельбрюк, можно было “привязать генетическую карту к местности”»<sup>4</sup>.*

С благословения Дельбрюка Бензер начал строить высокоточную внутреннюю генетическую карту локуса *rII* фага T4. За 10 лет (1952—1961) он картировал свыше 1600 *rII*-мутаций, оценил размер локуса, его физическую длину, получил множество других впечатляющих данных. В последующие годы число исследованных мутаций достигло 2400. За несколько десятилетий локус *rII* оказался наиболее подробно генетически картированным геном в биологическом мире.

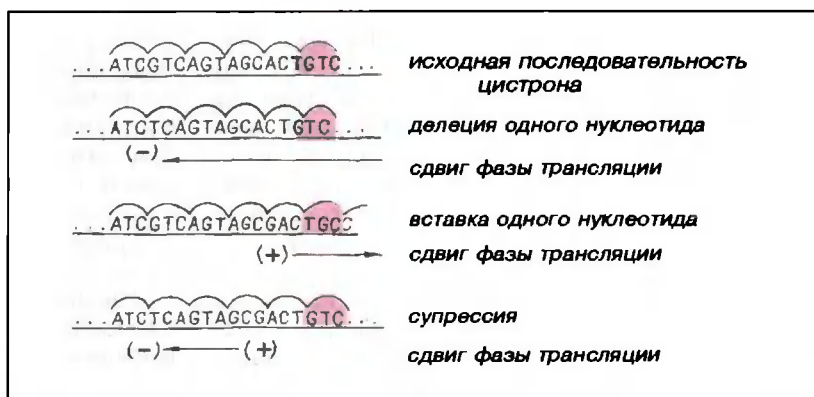
Основные результаты Бензера состояли в следующем:

— локус *rII* включает два гена (цистрона) — A

<sup>1</sup> Benzer S. Adventures in the *rII* Region // Phage and the Origins of Molecular Biology / Eds J.Cairns, G.S.Stent, J.D.Watson. Cold Spring Harbor, 1966. P.157—165.

<sup>4</sup> Там же.

Схема, поясняющая эксперимент Крика и сопр. по взаимной супрессии сдвиговых мутаций в сегменте цистрона *rII* В фага T4. (+) — вставка символа, (–) — выпадения символа.







С. Бензер.

и В, которые не перекрываются; в дальнейшем выяснили, что эти гены кодируют белки; — размер генов  $\sim 10^2$ – $10^4$  нуклеотидных пар (н.п.); потом размер уточнили: *rII A*  $\sim 2400$  н.п., белок — 88000 D; *rII B*  $\sim 1200$  н.п., белок — 44000 D; — рекомбинации разделяют участки (сайты) мутирования, между которыми несколько н.п.; впоследствии соседние нуклеотиды удалось разделить; — locus *rII* разбит на 308 мутационных сайтов (в дальнейшем — на 370); отдельный сайт в среднем отвечает трем н.п. (по более поздним данным  $\sim 10$  н.п.). Это достаточно высокая степень заполнения локуса мутациями, почти до уровня кодонов.

Таким образом, молекулярное представление о генах приобрело новые очертания. Ген (цистрон) по Бензеру — это непрерывный участок последовательности ДНК ( $\sim 10^2$ – $10^4$  пар мономеров), кодирующий белок; состоит из сотен сайтов, мутации которых искажают или уничтожают общую функцию гена, поэтому цистрон как целое — единица функции. Вспомним шутку Н.В.Тимофеева-Ресовского: “Это... не кусочек сливочного масла!” Мутации возможны в любых сайтах вплоть до отдельных нуклеотидов, т.е. ген не единица мутирования (мутон). Мутон равен паре нуклеотидов. Рекомбинации могут разделять смежные пары нуклеотидов, поэтому ген нельзя считать неде-

лимой единицей рекомбинации — реконом, который равен паре нуклеотидов.

Все это прекрасно укладывается в информационно-лингвистический подход. Гены представляют собой не зачатки биологических структур, а напоминают линейные тексты (участки ДНК), записанные при помощи некоторых правил и несущие *генетическую информацию* о молекулярных структурах и функциях. Они ограничены некоторыми размерами, имеют разные последовательности символов-мономеров. Возможны “бессмысленные” участки, не кодирующие белок или кодирующие испорченные белки. При этом во всех случаях и гены, и не кодирующие участки — сегменты молекул ДНК, т.е. построены из того же алфавита четырех нуклеотидов. Поэтому различия между такими текстами не в их физической природе, а исключительно — в последовательностях символов-мономеров. В этом ключ информационно-лингвистического подхода. Значит, гены — не физические, а *информационные единицы* наследственности, т.е. предположение Шредингера о “шифровальном коде” действительно подтверждается и материализуется.

Но если гены как последовательности нуклеотидов все же ограничены по размеру, то они должны быть как-то выделены в геноме, поскольку их основное генетическое качество — дискретность. Далее, должно быть соответствие между линейными порядками нуклеотидов в гене и аминокислот в белке (координатное соответствие). Наконец, текст цистрона должен быть тем или иным способом разбит на группы, кодирующие отдельные аминокислоты, кодоны.

## Сдвиг вправо, сдвиг влево — приравнивается к летали

В конце 50-х годов информационно-лингвистический подход в наибольшей мере был присущ Крику. Теоретически он и С.Бреннер поняли, что в цистроне замены символов не нарушают разбиение текста на кодоны, а выпадения (–) и вставки (+) символов сдвигают фазу разбиения соответственно влево или вправо. Комбинирование (–)- и (+)-сдвигов может восстанавливать исходную фазу трансляции. Заметим, что эта идея не оперирует никакими физико-химическими особенностями ДНК, а рассматривает ее абстрактно, как последовательность символов алфавита, разбитую на слова-кодоны.

Рассказывают, что для решения этой проблемы Крик с коллегами летом 1961 г. сняли на вес для велосипедов в Кембридже, одолжили на время лабораторное оборудование и успешно

выполнили свой классический эксперимент, а в конце года опубликовали результаты этой работы в "Nature". Они использовали генетическую систему локуса *rII* фага *T4* Бензера. Несколько ранее в Кембридже Крик и Бензер изучали мутагенез в локусе *rII* фага *T4*, вызванный акридиновыми красителями. Почти все мутации оказались летальными. Хотя данные были не столь очевидны, Крик предположил, что акридины вызывают выпадения и вставки нуклеотидных пар в цепи ДНК. Это и был желанный подход к анализу внутренней организации цистрона. Интуиция не подвела Крика. Его группа получила свыше 120 акридиновых мутаций в небольшом левом сегменте цистрона *rII B*, вблизи границы с цистроном *rII A*. Почти все мутации на *E. coli K12* были летальными, а 80 из них при комбинировании в одном гене проявили различные свойства восстановления (супрессии) функции гена *rII B*.

Из этих 80 мутаций можно выделить две группы, (+) и (–), по способности к взаимной супрессии функции гена *B* при попадании в одну копию гена. При этом:

у двойных мутантов (+ +) и (– –) функция гена *B* никогда не восстанавливалась;

у двойных мутантов (+ –) и (– +) во многих случаях исходная функция гена *B* была восстановлена, но лишь в случаях, когда мутации были на близких расстояниях друг от друга (как потом выяснилось, — не более 50–60 н.п.), а на больших расстояниях такого эффекта не наблюдали;

у тройных мутантов (– – –) и (+ + +) в нескольких случаях на близких расстояниях трансляция восстанавливалась, но далеко не всегда.

Информационно-лингвистический подход позволяет очень четко интерпретировать эти данные. Рассмотрим ген (цистрон) как очень длинный текст (предложение), разбитый на короткие слова одинаковой длины (кодоны). Разбиение цистрона на кодоны соответствует фазе считывания текста — трансляции. Рассмотрим влияние вставок и выпадений символов на изменение или восстановление правильной фазы трансляции.

Пусть (+)-мутация связана с внедрением одного или нескольких символов (но не кратно размеру кодона), а (–)-мутация — с выпадением такого же фрагмента. Пусть пары мутаций (+ +)- и (– –) тоже не кратны размеру кодона. Тогда одиночные (+)- и (–)-мутации должны полностью разрушать правильную фазу трансляции "вниз по течению" (т.е. по направлению

трансляции). У(+ +)- и (– –)-мутантов правильная фаза трансляции не должна восстанавливаться, а у (+ –)- и (– +)-мутантов — должна.

Если у тройных мутантов, (+ + +) и (– – –), возможно восстановление правильной фазы трансляции, кодоны триплетны или кратны трем (правда, последнее уж очень расточительно!), поскольку происходит сдвиг, кратный трем.

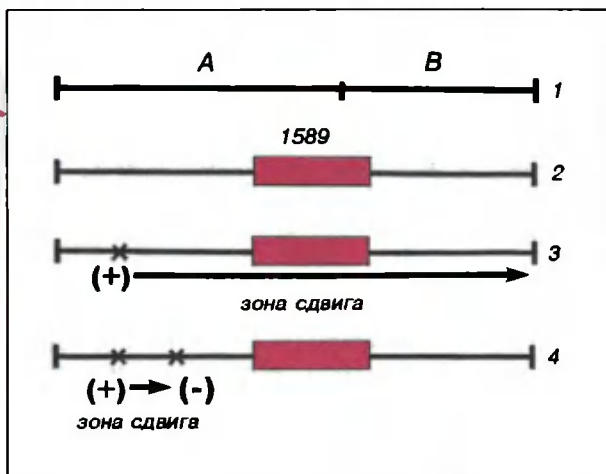
В триплетных кодонах сдвиг влево на один символ с точки зрения фазы трансляции эквивалентен сдвигу вправо на два символа; а сдвиг влево на два символа эквивалентен сдвигу вправо на один. Других вариантов нет. Поэтому должны быть две группы ((+) и (–)) мутантов. В дуплетном коде была бы одна группа, где все мутации восстанавливали бы друг с другом правильную фазу трансляции. В квадруплетном коде было бы более двух групп взаимной супрессии. Поэтому кодоны триплетны без оговорок, а их максимальное число  $4^3=64$ .

Если в генетическом коде есть не кодирующие триплеты (нонсенсы), то при сдвиге образуется как бы новая случайная последовательность кодонов, среди которых могут встретиться и нонсенсы. При этом важен размер участка сдвига: на малых участках нонсенсы могут не встретиться, а на больших встретятся обязательно и станут барьерами трансляции. Если в коде 64 триплетных кодона, а число нонсенов — два-три, то в этом случае в среднем они должны встретиться на участках сдвига размером больше 20–30 кодонов (40–60 н.п.). Значит, у многих двойных мутантов типа (+ –) и (– +) на участке сдвига фаза трансляции должна восстанавливаться на расстояниях не более 40–60 н.п., когда нонсенсы-барьеры встречаются редко. Это подтверждено экспериментально. Именно поэтому генетический код сильно вырожден и содержит несколько не кодирующих триплетов-нонсенов.

У двойных мутантов (+ –) и (– +) на участке сдвига фаза разбиения на кодоны меняется. Бывшие границы старых кодонов становятся внутренними участками новых, а бывшие внутренние участки — новыми границами. Трансляция при этом не восстанавливается. Это значит, что между кодонами нет никаких специальных разделительных знаков ("запятых").

Если все кодоны триплетны, то в принципе любой цистрон можно прочитать тремя способами (т.е. в трех фазах). Однако реализуется лишь одна фаза считывания, когда внутри цистрона нет нонсенов-барьеров. В остальных фазах, как показано выше, нонсенсы встречаются уже на расстояниях порядка 20–30 кодонов. Поэтому, если кодоны не отделены "запятymi" и нет других внутренних способов их выделения (например, "кода без запятых"),

<sup>5</sup> Crick F.H.C., Barnett L., Brenner S., Watts-Tobin R.G. // Nature. 1961. V.192. №4809. P.1227–1232; Крик Ф., Барнетт Л., Бреннер С., Уоттс-Тобин Р. Общая природа генетического кода для белков // Молекулярная генетика. М., 1963. С.33–50.



Сшивание двух цистронов *rII A* и *B* при помощи делеции *rII 1589*.

1 — нормальные цистроны  
*A* и *B* разделены границей трансляции;  
 2 — делеция 1589 устраняет границу между цистронами, функция *B* сохранена;  
 3 — (+)-мутация в *A* инактивирует функцию *B* путем общего сдвига вправо фазы трансляции;  
 4 — добавочная (-)-мутация в *A* супрессирует (+)-мутацию и восстанавливает функцию цистрона *B*.

то должно существовать фиксированное начало отсчета фазы, т.е. начало трансляции.

Ранее Бензер нашел тестерную делецию №1589, где выпали правая часть цистрона *rII A*, левая часть цистрона *rII B* и все, что было между ними. Крик и коллеги показали, что при этом (+)-мутация в *rII A* вызывала инактивацию цистрона *rII B*, а мутация (+ -) в *A* тоже распространялась в *rII B*. Следовательно, цистроны *A* и *B* считы в одной фазе трансляции и считаются слева направо в виде одного общего белкового продукта. Между ними нет препятствий. В нормальном локусе *rII* цистроны *A* и *B* должны быть разделены границей — межцистронным интервалом и двумя знаками: терминальным цистрона *A* и начальным цистрона *B*.

В начале 80-х годов, когда описанные зоны цистронов *rII A* и *rII B* секвенировали, все эти выводы полностью подтвердились. Даже знак мутаций Крик угадал правильно. Конечно, это чистая случайность, но каков случай! Работа Крика и сотрудников — просто шедевр информационно-лингвистического подхода. К 1994 г. геном фага T4 прочитали полностью.

## Гонка за лидером

Другая сенсация 1961 г. пришла с неожиданной стороны. Молодой американский биохимик М.Ниренберг и немецкий Х.Маттеи изучали синтез белков в бесклеточной системе трансляции *E.coli*. Ранее они показали, что для включения меченых аминокислот необходимо участие природной или синтетической РНК, которую потом назвали РНК-посредником, или матричной РНК.

В одном из экспериментов они в качестве матрицы добавили в реакционную смесь гомополимер поли-*U*. При этом почти в 1000 раз увеличилось включение меченой аминокислоты фенилаланина в продукт синтеза. Значит кодон *UUU* кодирует фенилаланин.

Исследователи послали в печать первую работу в марте 1961 г., а затем представили ее на одной из секций V Международного биохимического конгресса, который проходил в Москве 10–16 августа<sup>6</sup>. Крик, сразу же поняв, что эта работа сулит “прорыв” в исследовании кода, пригласил Ниренберга повторить доклад на симпозиуме перед большой аудиторией и сопроводил выступление своими положительными комментариями.

Так был дан старт великой “гонке за лидером”. В 1961 г. 34-летний малоизвестный доктор Ниренберг имел небольшую лабораторию в Национальном институте артрита и болезней обмена (г.Бетесда, Мериленд). Начав изучение генетического кода, он сразу же попал в “высококонкурентную среду”. О его работе прослышал крупнейший биохимик, нобелевский лауреат С.Очоа и, поняв, насколько высока ставка, попытался сделать бросок вперед, чтобы опередить Ниренберга. Очоа даже не поехал на конгресс в Москву, а сразу приступил к работе. Силы были неравные: у авторитетнейшего ученого Очоа не было финансовых проблем, кроме того, он владел многими уникальными методами. Но и Ниренберг не собирался сдаваться.

Очень быстро в обеих лабораториях при помощи фермента полинуклеотид-фосфорилазы (за его открытие Очоа в 1959 г. и получил Нобелевскую премию) синтезировали полинуклеотиды заданного состава, например *U:A = 5:1* и т.д. Эти матрицы стимулировали включение других меченых аминокислот в определенных пропорциях. В результате к 1963 г. установили нуклеотидный состав 48 кодонов, отвечающих определенным аминокислотам (табл.1). Данные двух лабораторий фактически совпали. Не обогнав Ниренберга, Очоа вышел из игры.

<sup>6</sup> Ниренберг М.В., Маттеи Г. // Тр. V Международ. биохим. конгресса. Симп.1. 1962. С.211–226.



Таблица 1

## Состав кодонов по Ниренбергу—Очоа

| Аминокислота             | Кодоны                         |
|--------------------------|--------------------------------|
| Аланин (Ala)             | 1U1C1G, 1A1C1G, 2C1G           |
| Аргинин (Arg)            | 1U1C1G, 2C1G, 2A1G             |
| Аспарагиновая к-та (Asp) | 1U1A1G, 1A1C1G                 |
| Аспарагин (Asn)          | 1U2A, 1U1A1C, 2A1C             |
| Цистеин (Cys)            | 2U1G                           |
| Глутаминовая к-та (Glu)  | 2A1G, 1U1A1G                   |
| Глутамин (Gln)           | 2A1C, 1U1A1C                   |
| Глицин (Gly)             | 1U2G, 1A2G, 1C2G               |
| Гистидин (His)           | 1U1A1C, 1A2C                   |
| Изолейцин (Ile)          | 2U1A, 1U2A, 1U1A1C             |
| Лейцин (Leu)             | 2U1G, 2U1A, 2U1C, 1U2C, UUU ?, |
| Лизин (Lys)              | AAA, 1U2A, 1G2A                |
| Метионин (Met)           | 1U1G1A                         |
| Фенилаланин (Phe)        | UUU, 2U1C                      |
| Пролин (Pro)             | CCC, 1A2C, 1U2C                |
| Серин (Ser)              | 2U1C, 1U2C, 1U1G1C, 1A1G1C     |
| Треонин (Thr)            | 2A1C, 1A2C, 1U1A1C             |
| Триптофан (Trp)          | 1U2G                           |
| Тирозин (Tyr)            | 2U1A, 1U1A1C                   |
| Валин (Val)              | 2U1G                           |



М.Ниренберг.

Затем, по словам Крика, «наступила пауза, поскольку было неясно, как *продолжать работу и найти порядок оснований в триплетях. Это привело к шквалу теоретических работ, большинство из которых благополучно забыто*»<sup>7</sup>

Я расскажу об одной такой попытке, которая, к моему огорчению, не потрясла мир, но все-таки породила у одного автора определенную уверенность, что такие вещи нужно делать. Этим автором был я сам.

В 1963 г. теоретики располагали:

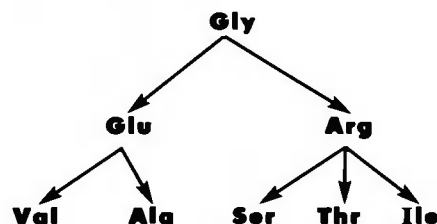
— таблицей состава 48 кодонов; это был явно не полный список, поскольку некоторые кодоны было трудно выявить на фоне других (табл.1);

— списком мутационных замен аминокислот в некоторых природных белках (оболочечном белке вируса табачной мозаики, ВТМ, триптофан-синтетазе *E.coli* и гемоглобинах человека), также далеко недостаточным. Поскольку некоторые мутации были ненадежны, список часто пересматривали.

Ясно, что замены аминокислот должны согласовываться с реальной таблицей кодонов. В принципе, при полноте таких данных можно было бы восстановить относительный порядок оснований во всех кодонах с точностью до одинаковых перестановок символов в таблице,

а при неполноте данных — лишь получить относительный порядок оснований только в части кодонов. Чтобы избавиться от неоднозначности за счет перестановок символов, нужны были независимые данные об абсолютном порядке символов хотя бы в одном гетерогенном мутирующем кодоне.

В 1963 г. Ч.Яновский с коллегами опубликовал «мутационнуювилку» в 211-м кодоне белка триптофан-синтетазы *E.coli*:



Некоторые из этих мутантов рекомбинировали между собой:

$Arg \times {}^mVal \Rightarrow {}^mGly + Ser.$

Яновский показал, что мутант *Val* имеет маркерную мутацию *Ac<sup>m</sup>*, локализованную слева от кодона *Val* за пределами локуса. У мутантов *Arg* и *Val* затронуты разные нуклеотиды одного кодона. Сравнение кодонов всех участвующих серий аминокислот между собой и учет перехода левого маркера (*Ac<sup>m</sup>*) именно к рекомбинанту *Gly* приводят к важным следствиям:

<sup>7</sup> См. сноску 1.



— все данные совместимы только при предположении, что м-РНК считывается в направлении  $5' \rightarrow 3'$ , если N-конец белка ориентирован влево (этот факт еще не был известен, биохимические данные были неоднозначны);

— мутация  $Gly \rightarrow Arg$  оказалась левее мутации  $Gly \rightarrow Glu \rightarrow Val$ , т.е. возможные варианты порядка в кодонах  $Gly$  могли быть:  $GGU$ ,  $GUG$ ,  $GGA$  или  $GAG$  (помечены участвующие нуклеотиды).

Таким образом, Яновский определил порядок двух символов в кодоне  $Gly$ .

Мутационных данных по-прежнему не хватало, чтобы устранить все неоднозначности. Однако еще раньше, в 1962 г., я заметил, что применительно к структуре генетического кода можно сформулировать одно дополнительное свойство — так называемый “принцип связности кодовых серий”. Серией называется группа синонимических кодонов одной аминокислоты. Вспомним, что кодоны опознаются антикодонами т-РНК. Можно предположить, что изоакцепторные фракции т-РНК (переносящие одну аминокислоту) имеют общее эволюционное происхождение и возникают из общей предковой фракции в результате замен нуклеотидов в антикодонах т-РНК. В этом слу-

чае все кодовые серии должны быть связанными. Серия называется связной, если, оставаясь в пределах серии, можно из каждого ее кодона получить каждый другой путем последовательных замен отдельных символов. В противном случае серия считается разрывной.

Итак, серии кодонов должны возникать как связные группы. Но может быть, они теряют некоторые кодоны эволюционно и становятся разрывными вторично? Я показал, что это невозможно. Действительно, список кодонов эквивалентен словарю. Если кодоны используются многократно в структурах генов, то утрата любого из них в генетическом коде приводит к множественным дефектам (“дыркам”) в генетических текстах. Такие мутации жестко отсекаются стабилизирующим отбором. Поэтому, каков бы ни был истинный механизм вырождения кода, ни один из когда-либо возникших и часто используемых кодонов словаря не мог быть утерян в ходе эволюции. Значит серии должны быть связны.

Разработанная удобная схема (ее можно назвать алгоритмом) последовательной выборки вариантов кода позволила очень быстро сократить их разнообразие до двух-трех.

Таблица 2

Порядок символов в кодонах, полученный путем использования принципа связности, состава кодонов (см. табл. 1) и списка мутационных замен аминокислот в белках

| $1 \downarrow 2 \rightarrow$ | U         | C         | A         | G         | $\downarrow 3$ |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| U                            | UUU Phe   | UCU Ser   | UAU Tyr   | UGU Cys   | U              |
|                              | UUC Phe   | UCC Ser   | UAC (Tyr) | UGC Ser   | C              |
|                              | UUA Leu   | UCA Thr   | UAA Lys   | UGA ?     | A              |
|                              | UUG Leu   | UCG [Ser] | UAG ?     | UGG (Try) | G              |
| C                            | CUU Leu   | CCU Pro   | CAU (His) | CGU Arg   | U              |
|                              | CUC Leu   | CCC Pro   | CAC His   | CGC Arg   | C              |
|                              | CUA Gln   | CCA Pro   | CAA Gln   | CGA Arg   | A              |
|                              | CUG [Leu] | CCG ?     | CAG ?     | CGG ?     | G              |
| A                            | AUU Ile   | ACU Asn   | AAU Asn   | AGU ?     | U              |
|                              | AUC Ile   | ACC Thr   | AAC Asn   | AGC Ser   | C              |
|                              | AUA Ile   | ACA Thr   | AAA Lys   | AGA Arg   | A              |
|                              | AUG Met   | ACG [Thr] | AAG ?     | AGG ?     | G              |
| G                            | GUU Val   | GCU Ala   | GAU Asp   | GGU Gly   | U              |
|                              | GUC [Val] | GCC Ala   | GAC Asp   | GGC Gly   | C              |
|                              | GUA Glu   | GCA Ala   | GAA Glu   | GGA Gly   | A              |
|                              | GUG [Val] | GCG ?     | GAG ?     | GGG ?     | G              |

Примечание. Подчеркнуты кодоны, которые в дальнейшем оказались ошибочными. В круглых скобках — кодоны, в которых порядок символов установлен неоднозначно. В квадратных скобках — кодоны, добавленные в ходе процедуры вывода для объяснения мутаций и связности.

В каждом варианте порядок символов был определен примерно в 20 кодонах. В 1963 г. я послал несколько статей на эти темы, а через год появился большой массив мутационных данных и результаты Яновского о поведении маркера  $Ac^+$  в рекомбинациях. Мою небольшую статью с последними вариантами кода (где было определено уже до 40 кодонов) и аргументами в пользу направления трансляции ( $5' \rightarrow 3'$ ) А.Н. Белозерский представил для публикации в "Докладах АН СССР".

Однако в конце 1964 г. Г.Фунатцу и Х.Френкель-Конрат, отказавшись от предыдущей интерпретации нескольких ключевых мутационных замен аминокислот в оболочечном белке ВТМ, предложили вместо них совершенно другие варианты мутаций<sup>8</sup>. Базис моей работы рассыпался, похоронив под обломками все остальные результаты. Я отозвал работу из журнала.

Правда, я тут же переделал работу и получил два новых варианта кодонов. Один из них (A1.1) имел ряд дефектов. Другой (B1.1) был значительно лучше (табл.2). Он очень неплохо совпадал со списком кодонов Ниренберга и его коллег: из 64 триплетов 47 совпали, из-за ошибок в исходных данных и разрывности серии *Ser* шесть не совпали, состав еще 11 не был определен. Метод себя оправдал. Однако работы в России публикуются медленно — работа вышла только осенью 1966 г.<sup>9</sup> Время было упущено. Пиршество победителей уже состоялось.

Что же осталось от этой работы? Во-первых, интерес к проблеме. Во-вторых, понимание, что информационно-лингвистический подход может приносить принципиальные результаты. В-третьих, принцип связности кодовых серий и его эволюционное обоснование. Он выполняется во всех сериях, кроме *Ser*. В-четвертых, я заметил, что из рекомбинационных данных Яновского вытекает направление трансляции ( $5' \rightarrow 3'$ ) по матрице. Этот факт еще не был известен и сыграл ключевую роль в выводе вариантов кода.

## Пиршество победителей

В 1964 г. М.Ниренберг и Ф.Ледер, преодолев трудности, разработали метод связывания на рибосомах в бесклеточной системе фракций аминокотил-т-РНК с небольшими синтетическими олигорибонуклеотидами заданного порядка оснований. Такие работы, демонстрирующие взаимодействие кодон-антикодон, стали называть экспериментами *in vitro*. Прежде все-



Слева направо: Г.Хорана, Ф.Крик и М.Грюнберг-Манаго на симпозиуме в Колд Спринг Харборе в 1966 г.

го все динуклеотиды оказались неэффективными в связывании т-РНК. Дублетные коды отпали полностью. Метод позволял перепробовать все триплеты по одному.

В результате уже через год были испытаны все 64 триплета<sup>10</sup>. Почти все они были признаны кодирующими.

Американский биохимик Г.Хорана пошел другим путем и исследовал матричные свойства синтетических полирибонуклеотидов с повторяющимися парами, тройками, четверками оснований: поли-(UC)<sub>n</sub>, поли-(AG)<sub>n</sub>, поли-(UG)<sub>n</sub>, поли-(UUC)<sub>n</sub> и др.<sup>11</sup> РНК с повторяющимися парами синтезировали полипептиды с чередующимися аминокислотами, а РНК с повторяющимися тройками кодировали по три отдельных полипептидных гомополимера. Результаты полностью совпали с данными Ниренберга. Известные мутационные замены аминокислот в белках прекрасно соответствовали кодам. Иначе говоря, данные *in vivo* полностью совпали с данными *in vitro*.

Весной 1965 г. Крик отправился в США. Он объехал или обзвонил все лаборатории, обладающие новыми данными о структуре кодонов, и составил единую таблицу (табл.3). В течение

<sup>8</sup> Funatsu G., Fraenkel-Conrat H. // Biochemistry. 1964. V.3. №9. P.1356—1362.

<sup>9</sup> Ратнер В.А. Генетические управляющие системы. Новосибирск, 1966.

<sup>10</sup> Nirenberg M. et al. // The Genetic Code / Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biology. 1966. V.31. P.11—24.

<sup>11</sup> Khorana H.G. et al. // Ibid. P.39—49.

**Таблица 3**  
**Генетический код**

| 1↓2→ | U    | C   | A     | G   | ↓3 |
|------|------|-----|-------|-----|----|
| U    | PHE  | SER | TYR   | CYS | U  |
|      | PHE  | SER | TYR   | CYS | C  |
|      | LEU  | SER | Ochre | ?   | A  |
|      | LEU  | SER | Amber | TRP | G  |
| C    | LEU  | PRO | HIS   | ARG | U  |
|      | LEU  | PRO | HIS   | ARG | C  |
|      | LEU  | PRO | GLUN  | ARG | A  |
|      | LEU  | PRO | GLUN  | ARG | G  |
| A    | ILEU | THR | ASPN  | SER | U  |
|      | ILEU | THR | ASPN  | SER | C  |
|      | ILEU | THR | LYS   | ARG | A  |
|      | MET  | THR | LYS   | ARG | G  |
| G    | VAL  | ALA | ASP   | GLY | U  |
|      | VAL  | ALA | ASP   | GLY | C  |
|      | VAL  | ALA | GLU   | GLY | A  |
|      | VAL  | ALA | GLU   | GLY | G  |

1965 г. исследователи согласовали и устранили некоторые неоднозначности, доказали, что три нонсенса выполняют роль терминальных знаков, а триплет *AUG* по совместительству — иницилирующего знака трансляции. Р.Холли секвенировал первую фракцию т-РНК дрожжей — аланиновую; чуть позже в структуре различных т-РНК были локализованы антикодоны. Крик предложил свою гипотезу неоднозначности спаривания кодон—антикодон в третьей позиции. Бреннер с коллегами и независимо Яновский доказали координатность гена и белка — давно ожидаемое свойство генетических текстов. Вал результатов стремительно нарастал.

2—9 июня 1966 г. в Колд Спринг Харборе, вблизи Нью-Йорка, собрался «съезд победителей» — весь цвет биохимической науки (в ос-

новном, американцы). Из СССР был один участник — С.Е.Бреслер из Ленинграда, но без доклада. Таблицу генетического кода, сведенную Криком и представленную как плод коллективного труда, канонизировали как генетический код *E.coli*.

В своем вступительном докладе Крик сказал: *«Это историческое событие... Оценивая статьи этого симпозиума и оставляя в стороне все сомнительные пункты и оговорки, можно сказать, что открытие генетического кода — это действительно ключ к молекулярной биологии, поскольку он открывает, что два великих языка полимеров — язык полинуклеотидов и язык полипептидов — связаны между собой (выделено мной. — В.Р.). Мы можем быть полностью уверены, что наши общие идеи, такие как гипотеза последовательности (выделено мной. — В.Р.) действительно правильны. После этого для сомневающихся будет очень трудно не принять фундаментальные положения молекулярной биологии, которые мы пытались доказать в течение многих лет».*

Однако в пылу финального успеха фактически были забыты многие выдающиеся теоретики. Гамов не был на симпозиуме; только Крик вспомнил о его роли и в целом отметил роль теоретиков: *«Тем не менее теория принесла определенную пользу, будучи время от времени путеводителем для экспериментаторов... Может быть, более важно, что дискуссии о кодировании фокусировали внимание на проблеме и сделали ее более реальной для людей, которые в ином случае просто бы о ней не знали».*

Итак, словарь языка кодонов был определен полностью. Проблема генетического кода нашла свое экспериментальное решение. Структурно-функциональный базис молекулярной биологии получил прочное обоснование. Несмотря на все превратности судьбы, это был и грандиозный успех информационно-лингвистического подхода. Период экспериментальной дешифровки кода успешно закончился. Началось теоретическое осмысление найденных закономерностей. Настало время построения основ теории молекулярно-генетических систем управления, теории генетического языка и др. Но это уже другая история.

В 1968 г. Ниренберг, Хорана и Холли стали лауреатами Нобелевской премии по физиологии и медицине за расшифровку генетического кода и его функции в синтезе белка. ■





# Эксперимент в эпоху эллинизма

В.А.Гуркин,  
кандидат биологических наук  
Ульяновск

**Ф**рэнсис Бэкон, один из родоначальников экспериментального метода новоевропейской науки, считал, что в античности не было научного эксперимента, и видел в этом причину неудач греческой науки. Тогда же и начались споры о ее методах, которые продолжают уже более трех столетий. К бэконовской традиции следует отнести подавляющее большинство историков и философов. Но и в числе защитников древнегреческой науки выступали известные авторы, такие как Э.Мах, В.П.Зубов, А.Койре и ряд других.

Чтобы разобраться в этом споре, необходимо вернуться к тому понятию эксперимента и экспериментального метода, которое использовал Бэкон. С его точки зрения, т.е. с позиции человека, стоявшего у истоков современной науки, эксперимент — это одновременно и доказательство истинности научного знания, и способ получения нового знания. В отличие от хаотичного, случайного блуждания в поисках знаний, характерного для древней науки, экспериментальный метод создает условия для уверенного движения познающего разума к новым открытиям. «Истинный метод опыта, — объясняет Бэкон, — сначала зажигает свет, потом указывает светом дорогу: он начинает с упорядоченного и систематического опыта... и выводит из него

аксиомы, а из построенных аксиом — новые опыты; ведь и божественное слово не действовало на массу вещей без распорядка!»<sup>1</sup>. Но прежде необходимо очистить познающий разум от заблуждений (от «идолов» рода, пещеры, площади и театра). В этом разум должен опираться на опыты и на метод индукции, который предполагает ряд правил по обработке данных наблюдений. Бэкон, в частности, предлагает три вида таблиц, в которые вносятся все результаты («таблицы сущности или присутствия», «таблицы отклонения или отсутствия в ближайшем», «таблицы степеней или сравнений»). Данные таблиц сопоставляются, что позволяет исключить противоречивые случаи и значительно сузить круг поисков. Другими словами, индукция позволяет получить новое знание благодаря тому, что все лишнее (неистинное) отбрасывается.

Бэкон не отрицает того, что древняя наука опиралась на многочисленные опыты и наблюдения, но ее недостатком было не критическое отношение к результатам. Чтобы увидеть истинные закономерности, необходимы такие специально поставленные эксперименты, которые строятся по образцу «механических искусств»: «Подобно тому, как в гражданских делах дарование каждого, а также скрытый смысл души и страстей лучше обнаруживается тогда, когда

человек подвержен невзгодам, чем в другое время, таким же образом и скрытое в природе более открывается, когда оно подвергается воздействию механических искусств, чем тогда, когда оно идет своим чередом»<sup>2</sup>. Иначе говоря, в экспериментах необходимо отойти от традиционного античного описания природы и перейти к естествоиспытанию.

В работах Галилея, Бэкона и других ученых и философов XVII в. можно выявить еще одну важную характеристику экспериментального метода новоевропейской науки. Это конструирование предметов и экспериментальных ситуаций, которые до этого не существовали в природе<sup>3</sup>. «Полигоном» такого конструирования может служить лаборатория — место, которое максимально приближено к той ситуации, которая создается разумом, а не природой.

Обратим внимание на то, что испытание вещей в эксперименте оказывается одновременно и проверкой предшествующих теоретических представлений. Наиболее ярко это можно продемонстрировать на примере знаменитых экспериментов Уильяма Гарвея (1578—1657), в результате которых ему удалось открыть кровообращение. Суть вовсе не в том, что Гарвей об-

<sup>2</sup> Там же. С.58.

<sup>3</sup> См.: Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента от античности до XVII в. М., 1976; Он же. Понятие «природа» в античности и в Новое время. М., 1988.

<sup>1</sup> Бэкон Ф. Сочинения. М., 1977. Т.2. С.45.





Фрэнсис Бэкон.

наружил принципиально новые факты, а в том, что он смог переосмыслить уже известные. Отталкиваясь от принятой в то время теории римского врача Галена (II в. н.э.), согласно которой происходит постоянное превращение пищи в кровь, он провел мысленный эксперимент по подсчету объема крови, которая должна проходить через сердце в течение получаса. Оказалось, что вес этой крови превысил бы вес всего организма. Отсюда следовало, что кровь возвращается в сердце, а не расходуется на построение тканей организма (и если бы не существовало кровообращения, то человек должен был бы съедать и выпивать фантастическое количество пищи).

Попробуем теперь посмот-

реть на роль эксперимента в древнегреческой морфологии животных и человека. Первым анатомом античности традиционно признается пифагореец Алкмеон (VI-V вв. до н.э.), который исследовал строение глаза и зрительного нерва, головного мозга, кровеносной системы. Интересно дошедшее до нас свидетельство о том, как Алкмеон представлял себе взаимодействие дыхания и движения крови: «Алкмеон утверждает, что прилив крови в кровеносные сосуды вызывает сон, пробуждение происходит в результате отлива крови, тогда как полный прилив крови в сосуды приводит к смерти» (24, А18)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Diels H. Die Fragmente der Vorsokratiker. Berlin, 1922.

Это свидетельство проливает свет на причину того, почему вплоть до опытов Галена утверждалось, что кровь содержится только в венозной системе, тогда как в артериях находится воздух (о чем говорит и этимология слова «артерия», т.е. буквально «сберегающие воздух»). Исследователь античной медицины К.Фредрих<sup>2</sup> считал, что все это результат алкмеоновского анатомирования животных, умерщвленных особым методом, о котором пишет Аристотель в «Истории животных»: «У мертвых животных неясно расположение даже самых главных сосудов, вследствие того, что по выходе крови сосуды сейчас же спадаются» (511b). Поэтому Аристотель полагал, что изучать их можно только на животных удушенных, доведенных предварительно до исхудания. В результате кровь скапливается в венах и в правой половине сердца. Этим обстоятельством и объясняется тот парадоксальный факт, что греческие анатомы, вплоть до Галена, рассматривали артериальную систему как часть дыхательной.

Время от времени возникали сомнения по поводу отсутствия крови в артериях. В частности, знаменитому александрийскому врачу и анатому Эрасистрату (III в. до н.э.) даже пришлось разработать специальную концепцию, объясняющую появление крови при ранениях артерий. Эта концепция — замечательный пример в доказательство того, что простое наблюдение не способно опровергнуть теоретическую систему. Согласно Эрасистрату, вены и артерии соединяются через анастомозы (в переводе с греческого — соустья), которые в норме закрыты, поэтому кровь и пневма (вдыхаемая легчайшая воз-

<sup>2</sup> См.: Fredrich C. Hippokratische Untersuchungen. Berlin, 1899.

душная субстанция) не смешиваются. Если же происходит повреждение артериальной стенки, пневма мгновенно покидает артерию, а пустоту немедленно заполняет кровь из соседней вены, поступающая по анастомозу. Поэтому кровь, вытекающая из артерии, должна считаться венозной.

Известно, что Эрасистрат первым открыл и описал сердечные клапаны. Анализируя их строение, он пришел к мысли о невозможности обратного движения содержимого артерий (пневмы). И если бы он не разделял позиции стоиков, утверждавших приоритет пневмы и невозможность ее смешения с материей (кровью), то открытие кровообращения могло бы состояться на два тысячелетия раньше.

Эксперимент Галена, доказывающий присутствие крови в артериальной системе, достаточно прост и изящен. На живом животном (свинье) он выделяет и перевязывает двумя нитями участок артерии, так, чтобы в него не могла попасть кровь из другой части артерии. Произведя надрез, Гален продемонстрировал всем собравшимся присутствие крови в изолированном участке артерии. Таким образом, спустя семь столетий после опытов Алкмеона, Гален смог вывести греческую морфологию за пределы ошибочной традиции. Что же позволило Галену сделать этот важный шаг?

Философская ориентация Галена была связана не со стоической школой, а с направлением, известным под названием «средний платонизм». Особенностью среднего платонизма было стремление объединить основные философские течения эпохи эллинизма на основе учения Платона. Известно, что Гален посвятил несколько своих сочинений разбору чисто философских

проблем и связи философии с медициной (его знаменитый в средние века трактат — «О том, что подлинный врач должен быть и философом»), при этом платоновской философии отводилось главенствующее место. В частности, Гален ориентируется на представления Платона о здоровье как о благе. (У стоиков была другая позиция. Они считали, что здоровье «не есть добро, но безразличие»<sup>6</sup>.) Поэтому с точки зрения платоника Галена целесообразность природы не позволила бы создать «вредные» для здоровья анастомозы между артериями и венами (ибо, по Эрасистрату, причина всех болезней — на-

рушение баланса между пневмой и кровью, когда при излишестве пищи кровь начинает проникать через анастомозы в отдельные артериальные сосуды и создает там очаг воспаления). Гален как анатом все-таки признавал, что анастомозы существуют. Каково же их предназначение? «Природа создала анастомозы артерий с венами не бесполезно и не напрасно, но для того, чтобы польза от дыхания и пульсации распространилась не только на сердце и артерии, но и на вены»<sup>7</sup>. Отсюда следовал вывод, что анастомозы функционируют не только во время болезни, но и в здоровом состоянии. Однако Гален



Уильям Гарвей.

<sup>6</sup> Лосев А. Ф. История античной эстетики М. 1979, т. 5, с. 140.

<sup>7</sup> Гален. О назначении частей человеческого тела. М., 1971. С. 249.



Гален.

по-прежнему считал, что кровь заполняет всю артериальную систему, как и пневма — венозную.

Там, где платонизм и стоицизм не противоречили, а дополняли друг друга, Гален оставался последователем Эрасистрата, интерпретируя своего предшественника в платоновском духе. Таковы истоки галеновского учения о триадности пневмы ("пневма психическая", "пневма животная" — в артериальной крови, "пневма растительная" — в венозной), в котором явно прослеживается платоновско-аристотелевское учение о тройственной природе души.

Помимо рассмотренного эксперимента по опровержению эрасистратовской концепции Гален проводит и ряд других. В частности, это опыты по опровержению аристотелевского утверждения: "начало нервов — сердце", опыты

по выяснению, какое из представлений о механизме действия почек более истинно, и многие другие.

Но можно ли утверждать, что эксперименты Галена — это и есть становление экспериментального метода в науке? По Бэкону, экспериментальный метод позволяет безошибочно двигаться вперед по пути научного познания, что оказывается возможным благодаря открытию с помощью экспериментов истинных начал и аксиом. Для античной и эллинистической науки характерно аристотелевское определение: "наука не может иметь своим предметом начала", поскольку открытие начал невозможно научиться.

Гален принимает целесообразность живой природы как исходный принцип, согласно платоновской философии, и пытается его продемонстрировать на эмпирическом материале в ходе полемики между различными философскими школами эллинизма. Тем самым эксперимент Галена оказывается новым приемом в ходе дискуссии. Он рассматривается как критерий, позволяющий совершить правильный выбор из существующих точек зрения. По своему характеру он соответствует школьному демонстрационному опыту, которым учитель иллюстрирует утвержденную доктрину.

Приходится признать, что эксперименты Галена, в отличие от опытов Гарвея, не предназначены для открытия нового знания. Для "догматического" направления (таковы и аристотелизм, и платонизм, и стоицизм) новое знание — это исключительно результат деятельности теоретического ума, постигающего целесооб-

разность строения микрокосмоса и всей Вселенной.

Вместе с тем понятие целесообразности не служило препятствием для гарвеевских экспериментов. Как показал В.Пагель<sup>9</sup>, Гарвей отнюдь не отказывался в своих исследованиях от телеологии. Напротив, английский ученый на всех этапах своей научной деятельности находился под огромным влиянием авторитета Аристотеля, обоих мыслителей объединяло использование понятия "целевая причина", отвергнутого Бэконом. Тогда что же изменилось в науке Нового времени по сравнению с античностью?

Если для ученого эпохи античности и эллинизма существует набор вариантов мировоззрения, определяемый философскими школами, то для ученого XVII в. появляется новая перспектива, задаваемая христианским мировоззрением, где знание человеческое — лишь незначительная часть бесконечного божественного знания. Понятия античной науки и философии оказываются одними из многих возможных. И если античный анатом развешивал свои эксперименты для демонстрации заранее известных принципов, то новоевропейский исследователь занят поисками этих принципов. Подобно тому как античная культура становится своего рода образцом для европейской, так и античное понятие целесообразности превращается в регулятивный принцип (выражаясь кантовским языком), в определенный, если угодно, эстетический ориентир, которым биолог может руководствоваться в своих исследованиях.

<sup>9</sup> См.: Pagel W. New light on W. Harvey. Basel, 1976.

# Загадочные дициемиды — высокоорганизованные животные

К.Н.Несис,  
доктор биологических наук  
Москва

В царстве животных есть несколько небольших групп со столь своеобразным строением, что их не удастся с достоверностью отнести ни к какой более крупной группе. Одна из таких групп — дициемиды (класс или самостоятельный тип *Dicyemida*). Это удивительно просто устроенные нитевидные животные длиной до 10 мм. Все дициемиды (их насчитывается 8 родов и около 70 видов) — паразиты донных и придонных головоногих моллюсков, чаще всего осьминогов. Они обитают в почечных мешках (точнее, почечных придатках полый вены) и не причиняют хозяевам видимого вреда, так что, возможно, они вовсе и не паразиты, а полезные симбионты. В умеренных широтах практически невозможно найти свободного от дициемид осьминога, даже совсем молодого.

Естественно, жизнь в венозных придатках почки, в жидкой среде, делает ненужными для взрослых дициемид пищеварительную, выделительную, кровеносную, нервную системы, органы чувств, мускулатуру и т.д. Тело взрослой дициемиды состоит из чрезвычайно длинной — во всю длину тела — осевой клетки и нескольких (10—40) окружающих ее мелких ресничных клеток. Число клеток постоянно и характерно для вида, причем постоянство их числа устанавливается еще у зародыша. Жизненный цикл очень сложен и включает чередование партеногенетического (девственного) и полового (самооплодотворяющегося, гермафродитного) поколений. Половые

клетки развиваются внутри осевой клетки (так что и обособленной половой системы нет). Эмбриональное развитие крайне упрощено. Имеются два сорта личинок: одни (червеобразные) возникают в результате партеногенеза, остаются в почечном мешке хозяина и вырастают в новых партеногенетических особей (нематогенов); другие образуются в результате полового размножения и выходят во внешнюю среду, чтобы найти нового хозяина. Половые особи (ромбогены) возникают из партеногенетических, когда размножившимся дициемидам становится тесно в почке.

Свободноживущая личинка очень похожа на инфузорию и называется инфузориформной личинкой (хотя инфузория — одноклеточная, а у личинки дициемиды 37 или 39 клеток!). Поскольку осьминоги и каракатицы — животные одиночные и не столь уж массовые, личинке приходится довольно долго плавать в придонном слое воды, пока не отыщется тот, кто ей нужен. Тут уж органы чувств необходимы, и у инфузориформной личинки на переднем конце имеется пара крупных пузыревидных светопреломляющих телец, нечто вроде глаз. Попадая в почечный мешок головоногого моллюска, личинка утрачивает их за ненадобностью.

Свыше 100 лет большинство зоологов рассматривает дициемид как промежуточную группу между одноклеточными и многоклеточными. Чаще всего их включают в тип *Mesozoa*, само название которого указывает на его промежуточное положение (*meso* — промежуточное, *zoön* — животное), но некоторые иссле-

дователи причисляют их к простейшим; В.В.Малахов соединяет их с губками и “ожившей загадкой” трихоплаксом в подцарство *Prometazoa* (“предмногоклеточные”); В.А.Догель рассматривает их как “дополнение” к типу плоских червей, а О.Г.Кусакин и А.Л.Дроздов — как самостоятельный тип, стоящий рядом с круглыми червями<sup>1</sup>. Не проясняет положения дел и анализ строения гена, кодирующего 18s РНК.

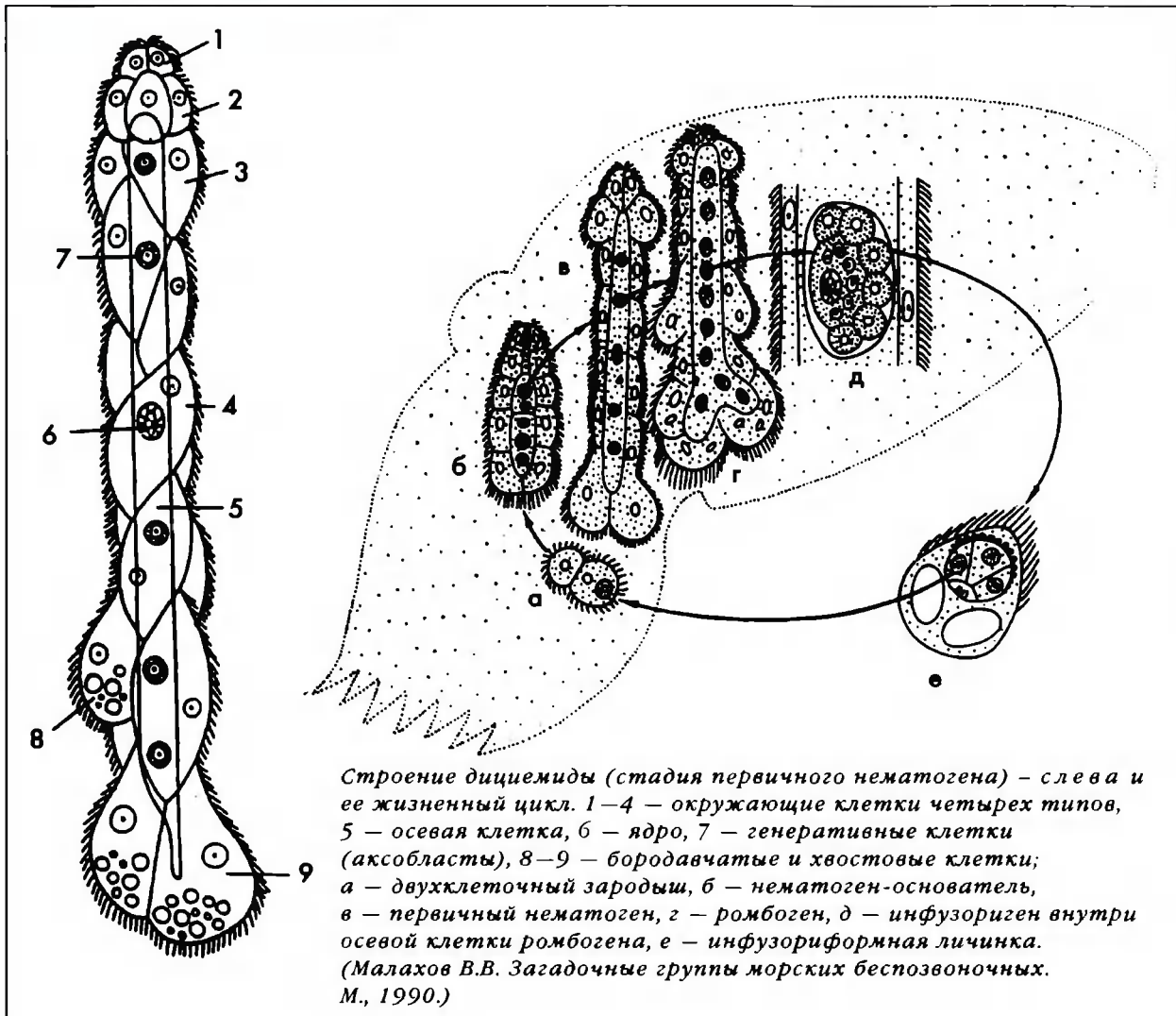
Попытку разобраться в филогенетическом положении дициемид предприняли японские исследователи совместно с их английским коллегой<sup>2</sup>. Для этого они использовали ген *Nox* из чрезвычайно важного семейства генов, определяющего план строения тела и отличающегося большой консервативностью в ходе эволюции. Исследователи клонировали ДНК гена *DoxC* (“местного представителя” семейства *Nox*) дициемиды *Dicyema orientale*, обитающей в почках кальмара *Sepioteuthis*, и сравнили структуру клонированного гена с нуклеотидной последовательностью того же гена других животных. Оказалось, что по своему строению ген *DoxC* совершенно отличен от генов губок, кишечнотелостных и других просто организованных животных и ближе всего к генам группы, называемой *Lophotrochozoa*. Такой же результат по-

<sup>1</sup> Малахов В.В. Загадочные группы морских беспозвоночных. М., 1990; Догель В.А. Зоология беспозвоночных. М., 1975; Кусакин О.Г., Дроздов А.Л. Филема органического мира. СПб., 1994. Т.1; Hochberg F.G. // Diseases of Marine Animals. 1990. V. 3. P. 84—110.

<sup>2</sup> Kobayashi M., Furuya H., Holland P.W.H. // Nature. 1999. V. 401, № 6755. P. 762.

© К.Н.Несис





лучен и при сравнении с-концевых аминокислотных последовательностей белков, кодируемых этими генами. К этой совсем недавно, и тоже на основании строения ДНК, выделенной группе относятся плоские, мало- и многощетинковые черви, коловратки, немертины, мшанки, моллюски и плеченогие, а вот круглые черви входят в совершенно другую группу, *Ecdysozoa* (“линяющих животных”), вместе с ракообразными, паукообразными и насекомыми<sup>3</sup>.

Этот неожиданный вывод вовсе не означает, что дициемиды — прямые родственники их хозяев

моллюсков, подобно не менее загадочной ксенотурбелле (*Xenoturbella bocki*)<sup>4</sup>. На мой взгляд, гораздо более вероятно, что они ближе к плоским червям, тоже не слишком сложно организованным животным. Но ясно, что дициемиды вовсе не промежуточная группа между одноклеточными и многоклеточными, а достаточно высоко организованные и бесспорно многоклеточные животные, близкие к высшим первичноротым. Следовательно, их примитивная организация не первична, а результат глубокого вторичного упрощения вследствие парази-

тического образа жизни. Наряду с трихоплаксом (принадлежащим к наиболее примитивным многоклеточным типа пластинчатых) дициемиды — один из самых крайних примеров вторичного упрощения среди животных. ■

<sup>3</sup> Aguinaldo A.M.A. et al. // Nature. 1997. V.387. №6632. P.489—493.

<sup>4</sup> Несис К. Н. Живой мешок с ресничками — зоологическая загадка // Природа. 1998. №10. С.97—98.

# Охотское побережье

А.Н.Махинов,

доктор географических наук

В.М.Сапаев,

кандидат биологических наук

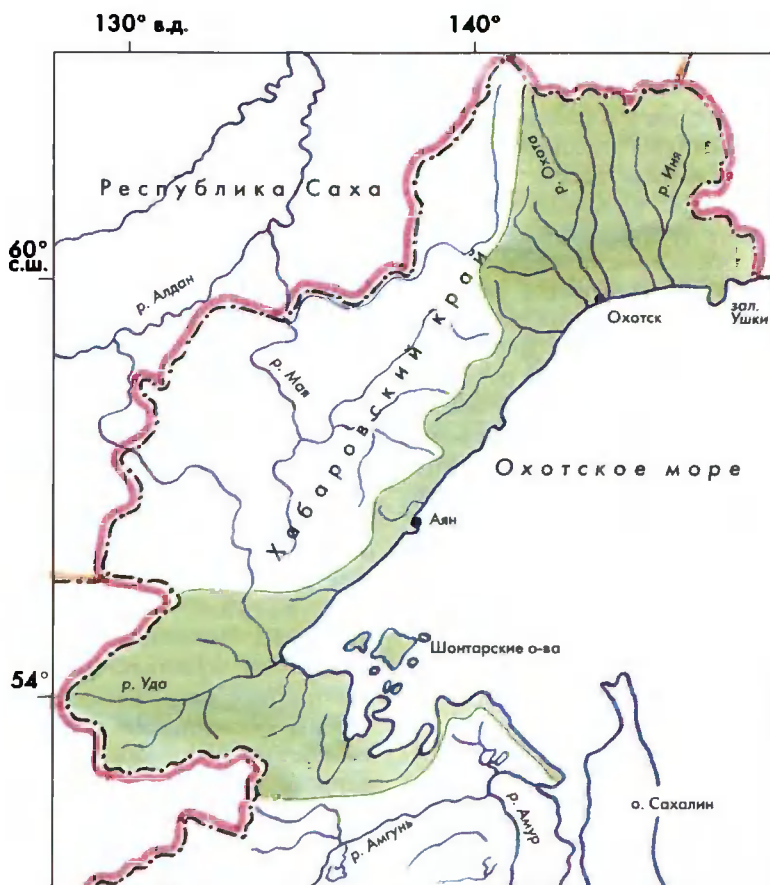
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН

Хабаровск

Территория Приохотья не имеет четких географических границ. К ней иногда относят западное побережье Камчатки и Курильских о-вов, восточные берега Сахалина и даже северную часть японского о.Хоккайдо. Но более всего это название подходит к западному побережью Охотского моря, протянувшегося на 2200 км в пределах административной границы Хабаровского края — от залива Ушки на севере до устья Амура на юге.

Приамурское географическое общество и Институт водных и экологических проблем ДВО РАН организовали и провели в 1994—1999 гг. несколько экспедиций в разные районы Приохотья. В результате исследований были изучены современное состояние природной среды и ее преобразование в результате хозяйственной деятельности.

Эти труднодоступные места удивительно притягательны суровой красотой, богатством и разнообразием природных ресурсов. Население здесь очень малочисленное, почти нет дорог за исключением зимников и внутренней трассы Аян—Нелькан. Береговая линия моря прямолиней-



Территория Приохотья (показана цветом) тянется на 2200 км от залива Ушки на севере до устья Амура на юге.

ная, и удобных мест для портов и причалов нет. В Охотске и Чумикане разгрузка судов возможна только на открытом рейде.

К Приохотью относятся острова Шантарского архипелага и несколько других в районе залива Александры. С суши эта территория условно ограничена горными системами и представляет собой полосу, с которой осуществляется сток в Охотское море. Ширина ее разная: от 23 км в районе верховьев р.Уй до 300 км в бассейнах рек Охоты и Уды. Здесь, охватывая также часть водозаборов крупных притоков Алдана, располагаются самые крупные в крае, да и в России, административные районы — Охотский (159 тыс. км<sup>2</sup>) и Аяно-Майский (167 тыс. км<sup>2</sup>). Освоение Дальнего Востока русскими началось именно здесь. В устье р.Ульи в 1639 г. вышел отряд казаков И.Москвитина, впервые обследовавших побережье на протяженном участке от района устья р.Охоты до Шантарских о-вов. В 1647 г. был заложен первый русский форпост Охотск — колыбель российского Тихоокеанского флота. Отсюда шло освоение Камчатки и Русской Америки. Большое значение придавал Приохотью великий русский ученый М.В.Ломоносов. Он сравнивал р.Уду с Рейном и считал необходимым построить в ее устье судостроительный завод, а на берегах «завести селения и пашни».

Приохотье вызывало интерес у многих ученых России и зарубежья. Еще в XVIII в. будущий автор «Описания земли Камчатки» С.П.Крашенинников организовал в Охотске наблюдения за погодой и приливно-отливными явлениями. В эти края в первой половине XIX в. мечтал попасть выдающийся немецкий географ А.Гумбольдт.

Климат Охотского побережья холодный. Летом его оп-

ределяет дыхание Охотского моря, а зимой — сибирского антициклона. На берегу моря морозы слабее, чем в Якутии, но лето намного прохладнее, поэтому перспективы развития сельского хозяйства здесь весьма ограничены. Но все же они есть: местные жители выращивают картофель и другие овощи. Пригодных для земледелия земель очень мало, так как преобладают горные ландшафты. Низменности Нижнекухтуйская и Приморская расположены в северной части. Имеются небольшие низменности и на юге, вдоль берегов крупных заливов, но здесь часты туманы, затяжные дожди и холодные ветры. Повсюду широко распространены многолетнемерзлые грунты.

Речная сеть очень густая. В море впадают сотни различных водотоков, но рек протяженностью более 100 км всего 13. Из них наиболее крупные — Иня, Ульбея, Кухтуй, Охота, Урак, Улья, Уда, Тугур. Они не судоходны, но для любителей сплавов здесь более чем достаточно экзотики!

Реки, стекающие с хребта Джугджур, имеют бурное течение на всем своем протяжении. Несмотря на небольшую длину, летом они полноводны. Этому способствует глубокое расчленение рельефа, большое количество осадков, распространение многолетней мерзлоты. Ливневый характер дождей — причина мощных паводков, загромаждающих поймы обширными валунными косами и полями. Местами нагромождения валунов образуют высокие и протяженные (на сотни метров) гряды вдоль рек. Зимой на многих реках образуются большие поля наледей, обычно заполняющих все дно долины. На первых космических снимках их даже приняли за озера. В паводки реки ежегодно переносят миллионы тонн наносов. Галька и валуны имеют идеальную окатанность. Разнообразие

состава горных пород обуславливает пестрый петрографический состав руслового аллювия даже в небольших реках. На речной косе можно встретить окатанные обломки различных осадочных пород, гранитов, диоритов, анортозитов, гнейсов. Особенно красива галька прочных юрских конгломератов, встречающихся в бассейне р.Киран. Трудно поверить, что такое разнообразие сочетаний цветов может быть на одном камне. Иногда они образуют настоящие картины — пейзажи или изображения реальных и фантастических животных.

Все реки приносят в море за год 239 км<sup>3</sup> воды, а вместе с Амуром — 585 км<sup>3</sup>. Гидроэнергетическими ресурсами край, казалось бы, обеспечен. Однако зимой все мелкие и многие средние реки полностью промерзают, а сток больших сильно сокращается. К тому же многие реки в низовьях протекают по равнинным участкам. Поэтому строительство ГЭС в этих районах не предполагается даже в перспективе. Приохотье богато озерами — их здесь более 13 тыс. Большинство из них термокарстовые, болотно-тундровые, а в горах — ледниковые и тектонические. Наибольшие размеры у лагунных озер, таких как Мухтель, Тунгар, притягивающих к себе разнообразную живность.

На размещение растительности как нигде большое влияние оказывают широтная зональность и высотная поясность. Их комбинация в сочетании с суровыми климатическими условиями создают в отдельных местах облик самого «южного» севера. Здесь, на широте среднего Урала, на склонах гор большие площади занимает лесотундра с ее редкостойными, угнетенными лиственничниками и стелющимися кедровостланиковыми «лесами». Выше 1000 м господствует горная



тундра, а в верховьях рек Охота и Урак имеются участки каменных пустынь и ледники. В целом на Охотском побережье господствуют светлохвойные леса. Но в южной половине и на защищенных от моря экспозициях произрастают леса из ели сибирской, а ближе к морю — аянской. По мере удаления от моря, особенно за Прибрежным хребтом, лесная растительность становится разнообразнее, кое-где появляются даже сосновые леса. Богатые высокоствольные древостои приурочены к южному побережью и долинам рек, удаленных от моря. Непосредственно берег моря украшают лиственничники со своеобразной “флаговой” кроной, сформированной ветрами. Обычен здесь и кедровый стланик, прекрасно приспособившийся к галечниковым грунтам прибрежных валов. На равнинах располагаются сфагновые болота, иногда бугристые с обильными ягодниками — голубики, морошки, брусники и шикши.

Особый колорит берегам рек придают приустьевые мачтовые рощи из удивительного растения чозения. Молодые ее кусты на галечниковых косах горных рек состоят из нескольких стройных побегов с характерной сизой окраской стволов. Они выдерживают бешеный натиск паводковых вод. В зарослях чозении всегда стоит специфический горьковато-сладкий запах, выделяющийся, вероятно, из коры и листьев. Из кустика вырастает одно стройное дерево с чрезвычайно густыми ветвями в нижней части ствола. По мере взросления дерева они отмирают — для зрелых особей характерны прямые стволы до самой кроны. Деревья достигают в толщину 0.5 м. Пойменные леса чозении поражают густотой и стройностью насаждений.

На побережье разнообразен животный мир, состоящий

из представителей четырех фаунистических комплексов: охотско-камчатского, связанного с темнохвойными лесами южной части; восточносибирского, локализующегося в северной и континентальной частях; высокогорного и морских берегов. Их сочетания придают неповторимый фаунистический облик побережью. Обычны ситуации, когда с судна, идущего вдоль берега моря, можно видеть одновременно жителя гор — снежного барана, обитателей тайги — бурого медведя и северного оленя, “береговых моряков” — кайр, чистиков, ипатов и прочих пернатых, тут же, в море, — тюленей и даже китов. Главный визуальный и акустический колорит на берегу образуют колонии морских птиц. Но основной фундамент процветания бегающего и летающего животного мира создают заходящие на нерест в реки проходные и полупроходные виды рыб — кета, горбуша, кижуч, нерка, кумжа и др., а также штормовые выбросы моря. На побережье гнездится большинство морских птиц, свойственных северной части Тихого океана, но крупных колоний мало. В поле зрения часто попадает большой пернатый хищник — белоплечий орлан.

Особенно велико видовое разнообразие на прибрежно-морских мелководьях. Здесь высока численность крабов, расположены основные нерестилища сельди, многочисленны тюлени (четыре вида), постоянно рыщут стаи белух. После истребления в прошлом веке стали появляться киты. Парадоксально, но одно из самых холодных морей мира отличается весьма высокой биологической продуктивностью и является одним из крупных центров добычи рыбы и морепродуктов. Особый зоогеографический узел расположен в районе Шантарского архипелага.

Летом поверхностный слой морской воды прогревается лишь до 14°, а зимой ее температура колеблется от -1.8° до +2°. С ноября вся северо-западная акватория моря покрывается льдами. Но под воздействием приливов-отливов и штормов ледяные поля находятся в постоянном движении. На берегах, подверженных сильному штормовому воздействию, образуются ледяные валы высотой до 8 м. Лед играет большую роль в динамике берегов и оказывает сильное влияние на погоду в весенний и летний периоды. Исчезает он в июне, но в районе Шантарского архипелага, где концентрируются огромные ледовые поля, держится до августа. В отдельные годы (1915 и 1975) льды сохранялись до следующей зимы. Их холодное дыхание почти на полтора месяца задерживает здесь приход лета.

Течения воды весьма сложны и разнонаправлены. Огромное влияние на берега, течения и экосистемы оказывают приливно-отливные процессы. Наибольшая высота приливов — до 8.5 м характерна для заливов южной части моря. Скорость течения водных масс в них достигает 2 м/с! Не дай Бог оказаться на суденышке с заглушим мотором или возле берега в это время. Заливы Тугурский, Ульяновский, Николая удобны для строительства крупных приливных электростанций.

Островов в Охотском море немного. Наиболее значимы острова Шантарского архипелага, являющиеся по сути частью материка. Их экосистемы аналогичны материковым, но все же, как и положено островным, беднее. В то же время здесь больше, чем на материковом берегу, выражены контакт и взаимосвязь сухопутной и морской экосистем. Берега островов Большой Шантар, Феклистова изумительно красивы. Здесь много кекуров,





Обрывистые берега Охотского моря.  
Здесь и далее фото А.Н.Махинова



В отлив на мелководьях  
обнажается дно.

Бугристые торфяники с термокарстовыми  
озерцами. Берег зал.Николая.





*Бухта Энегельма на о. Феклистова.*

*Разрушаемые берега.*



*Вдали от моря рельеф имеет плавные очертания.*





скал причудливой формы, геологических обнажений. Берега почти на всем протяжении относятся к денудационно-абразионному типу. Волны и интенсивное выветривание создают живописные участки, особенно в местах распространения изверженных пород. Здесь множество причудливых форм рельефа — гротов, пещер, башен, колонн, пирамид, подобие сфинксов и разнообразных обелисков. Кажется невероятным, что все это создано природой без участия человека. Целый заповедник таких удивительных фигур собран в районе мыса Пила к югу от Аяна.

Побережье заселено слабо. Плотность населения в границах трех административных районов колеблется от 0.03 до 0.1 чел/км<sup>2</sup>. Всего здесь в 1992 г. проживало 27 тыс. человек, а сейчас, в эпоху реформаций, людей еще меньше. Наиболее крупные населенные пункты — районные центры Охотск, Аян, Чумикан. Из 87 поселений в 44 проживают по 1—10 человек. С Большой земли побережье связано не очень надежным, из-за погодных условий, морским и авиационным транспортом. Зимой грузы завозят по зимнику.

Но чем живет этот суровый край? Он богат полезными ископаемыми, рыбой и морепродуктами, а в южной части — лесами. Испокоин веков здесь промышляли зверя, птицу, рыбу, содержали огромные стада северных оленей. Но оленеводство приходит в упадок. Ныне сохранилось всего около 35 тыс. голов. Главные отрасли — добыча драгоценных металлов (золота и платины), лов рыбы, крабов и других биоресурсов. Здесь добывается продукция на миллиарды рублей, но при этих богатейших гидроэнергетических, минеральных и биологических ресурсах Прихотье никак нельзя отнести к числу процветаю-

щих районов страны. И дело не в холодном климате или отдаленности, а в колониальном образе освоения территории. Он вжился в само поведение прибывших сюда на заработки людей и порой проглядывается у местного населения. Ведь просторы огромны, ресурсы большие, а контроля мало.

На шельфе моря предполагаются значительные запасы нефти. Вполне вероятно, что разработка нефтяных месторождений может войти в противоречие с интересами рыбной отрасли и способна оказать существенное негативное влияние на природные комплексы побережья и участки больших акваторий.

В Прихотье пока еще не сложилась стройная и экологически обоснованная система охраняемых природных территорий. Имеющиеся здесь четыре заказника и Джугджурский заповедник не в полной мере отражают разнообразие и уникальность ландшафтов, особенно морских экосистем. Неоднократные предложения об организации заповедника или национального парка на Шантарских островах с включением в его состав обширной акватории — мест размножения и нагула китов, тюленей, рыб, крабов и других морских обитателей, — наконец, перешли в стадию реального создания природного заказника федерального значения "Шантарские острова". Но морская акватория включена в него лишь частично — пятикилометровой полосой вокруг островов. В проекте акцент был сделан на береговые и наземные экосистемы, а морские оказались упущенными. Создание природного заказника "высокого статуса" вполне целесообразно, но Охотское море все же должно иметь свой полноценный заповедный угол.

Хочется верить, что в третьем тысячелетии через

350 лет после прихода сюда русских, национальные интересы государства в этом регионе будут подкреплены устойчивым состоянием экономики на основе использования богатейших природных ресурсов и выгодного геополитического положения. Первые шаги в этом направлении сделали старательские артели, показавшие, что в этих суровых условиях можно создавать комфортные бытовые условия для работников, строить дороги, производить качественные продукты питания и при этом заботиться о прекрасной, но легко ранимой природе. ■

# Зимнее братство

В.И.Булавинцев,

кандидат биологических наук

Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН  
Москва

Осенним ненастьем скучно в лесу, сырость и уныние правят миром. Поблекли краски, стихли голоса. Вот в эту пору грусти и увядания рождается особое братство, союз лесных птиц, не покидающих снежную родину ради тепла и изобилия заморских стран. И что примечательно, остаются не самые сильные и видные, те в первых рядах улетают с родных полей, болот и лесов в страхе зимы, а самые слабые, коих заметить — приглядеться надо. К примеру, синички, видов наберется — по пальцам перечесть. Крохи-птахи, размером с мышонка, комочек перьев да бусинки глаз, и сколько же нужно жизненной силы, чтобы пережить стужу и бескормицу долгой российской зимы. Не легче зимняя жизнь и у птиц с поползнями, а уж о королях, наших северных колибри, и говорить нечего. Как умудряются такие крошки, десяток на пригоршню, зимовать в российских лесах, уму не постижимо. Но у зимующих птиц есть свои секреты, и главный из них — невероятно быстрое усвоение пищи, идущей в основном на обогрев тела. Поэтому, если есть у птиц корм,

мороз им не так уж и страшен. К слову, в восточносибирской тайге синички-пухляки в лютые морозы, под минус пятьдесят, умудряются летать, искать корм и даже петь. Вот уж воистину мудры дела твои, Природа. Но пищу в зимнем лесу найти не просто. В эту пору даже сойки, сороки и вороны ближе к людям жмутся. Правда, есть среди зимующих у нас птиц хutorяне-одиночки, такие как крапивники, остающиеся по незамерзшим лесным ручьям, но таких героев мало, переживать холода в одиночку тяжело. Вот тут и приходится в пору зимнее братство.

Откуда берутся смешанные стайки зимующих птиц? Для ответа на этот вопрос ученые-орнитологи придумали убедительный и простой способ. Устроили в лесу кормушку и поместили около нее птиц. Потом кормушку перенесли, чтобы посмотреть, будут ли следовать за ней помеченные птицы. Оказалось, что птицы тянутся за кормушкой 300—500 м и отстают, а вместо них появляются другие, немеченные. Таким простым, немудреным способом удалось доказать оседлость зимних стаяк.

У каждого вида птиц, сбивающихся к зиме в смешанные стайки, будь то различные си-

нички, поползни, пищухи, короли или малый дятел, тот, что размером с воробья, — свое место в летнем лесу, своя манера поиска корма и устройства гнезд, поэтому они и не мешают друг другу, хотя и живут рядом, бок о бок. Кто на стволах кормится, кто на ветвях да в хвое копошится. С гнездами тоже все в порядке, и тут они друг другу не помеха. Королек свое жилище высоко над землей, снизу еловых лап прилаживает. Пищуха в трещинах стволов да за отставшей корой гнездится. Длиннохвостые синички устраивают свои закрытые теплые гнезда в развилках толстых ветвей. Все другие синички, живущие в наших краях, гнездятся в дуплах. Буроголовые гаечки-пухляки и хохлатые синички-гренадерки селятся невысоко над землей, чаще в обломках сухих, полусгнивших стволов, там и тут торчащих в захламленных, сырых участках леса. А вот лазоревки и большие синицы стараются селиться повыше, обычно в дуплах лиственных деревьев — осин, лип, дубов. Но и тут их вкусы различны. Лазоревке сойдет дупло с маленьким отверстием, а большой синице такое не годится, ей подавай квартиру поболь-

Заметки и наблюдения

© В.И.Булавинцев





*Крапивник возле гнезда. Эта птица-крошка зимует около незамерзающих лесных ручьев, а птенцов выкармливает в захламленных, сырых местах.*

*Здесь и далее фото автора*



*Снегирь за трапезой. Небольшие стайки снегирей можно увидеть зимой на деревьях и плодово-ягодных кустарниках, семенами которых они питаются.*

*Паук крестовик. Это крошечное насекомое, живущее на ветвях хвойных деревьев, — обычный корм королек, гаечек и хохлатых синиц.*



ше. Так и уживаются птички рядом, на одном и том же участке леса, выводят птенцов, а на зиму собираются в смешанные стайки, вместе зиму коротать.

Многие из зимующих птиц — некоторые синицы, поползни, сойки — еще с осени начинают запасать корм. Правда, часть своих запасов они тут же вскоре, через день-два, съедают, но все же многое остается. К примеру, один-единственный пухляк, скромно окрашенная серовато-бурая птичка в темной шапочке, ежегодно запасает до 300 тыс. семян сосны, но съедает за зиму не больше пятой части. Территориальная груп-

па поползней, москотов, пухляков, хохлатых синиц и болотных гаечек каждый год прячет на своей территории от 100 до 200 г корма. Согласитесь, запасы не шуточные. Но за один раз птички прячут немного, сколько унести могут, и таких кладовых-одно-разок набирается уйма, всех не упомнишь.

Искать утерянные запасы в одиночку хлопотно, а вот стайкой много проще и быстрее. Обнаружит кто-то из птичьей компании под корой, в трещинке ствола или в другом подходящем месте крошечный тайничок, налетает вся стайка. Несколько секунд попирали и полетели даль-



*Большая синица. В отличие от других видов синиц, она не запасает корм на зиму, а потребляет чужие запасы.*



*Сойка. До своих кладовых, в которых бывают и желуди, ей не всегда удастся добраться. Зато белка находит их и под глубоким слоем снега.*



*Дрозд рябинник. Его пища зимой — замерзшие плоды и ягоды, но он, в отличие от снегиря, охотно поедает и их мякоть.*

ше до следующей находки. Так и снуют с утра до вечера, подбедая свои и чужие запасы.

Все люди, даже самые далекие от дел природы, знают о существовании дятлов. Живут они повсюду — в парках, лесах и перелесках. Были бы только старые деревья, в которых дупло можно устроить, да корма под корой и на ветвях вдоволь. С утра до вечера долбит он усыхающие полусгнившие стволы, добывая себе пищу, а заодно и других лесных птиц кормит. Правда, дятел дятлу рознь. Самый обычный в наших лесах большой пестрый дятел для смешанных стаяк зимующих птичек мало интересен, ведь зимой он кормится в основном семенами сосны. Зато другие дятлы (белоспинный, черный и трехпалый) — большие любители живой пищи, и для мелких птиц — находка. Тянутся за ними шустрой неугомонной стайкой пищухи, поползни, длиннохвостые и хохлатые синички, пухляки, лазоревки, большаки. В самую трудную зимнюю пору и короли в таких стайках не редкость. Долбит дятел дерево сильным клювом, труха да куски коры во все стороны летят. Крутится птичья мелочь рядом. Синички и поползни все больше с земли оброненный корм собирают, каждую кучку трухи, каждый кусочек коры осмотрят. Где кладку вредителей леса отыщут, где личинка подвернется — все сгодится.

Но дело не только в корме. В стайке легче от хищника уберечься. Налетит ястреб-перепелятник на одиночную синичку, спастись ей ой как трудно, а в стайке с товарками шанс остаться живой выше. И кто знает, может, птицам, как и людям, зимнюю беду горевать вместе легче? Так или иначе, а издавна было и поныне живет зимнее братство птиц, радуя глаз и душу людей в зимнем лесу. ■

# Уникальные структуры неорганических соединений ртути

С.А.Магарилл, С.В.Борисов,  
Н.В.Первухина, Н.А.Пальчик

## От эры алхимии до современности

Самородная ртуть была известна за 2000 лет до н.э. народам Древней Индии и Китая. Приблизительно за 300 лет до н.э. древние египтяне научились превращать “красный минерал” киноварь ( $\text{HgS}$ ) в загадочную серебристо-белую металлическую жидкость (ртуть). Тяжелая, холодная, юркая, она вызывала великое изумление, а потом, через тысячелетие, приобрела исключительно важное значение в работах алхимиков. Греческий врач Диоскорид (I в. н.э.) нагревал киноварь в железном сосуде с крышкой, получая ртуть в виде конденсированных паров. Этот продукт он называл жидким серебром (лат. *hydrargyrum*), а также живым серебром (*argentum vivum*). Слово “серебро” сохранилось в английском и немецком названиях ртути: quicksilver и Quecksilber.

Под влиянием астрологов в “священное искусство” — получение золота и других ценных веществ — проникло мистическое верование в связь между небесными светилами и металлами. Каждая планета издревле обозначалась особыми значком, им же стали помечать и “родственные” планетам металлы. На-



*Светлана Александровна Магарилл, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института неорганической химии Сибирского отделения РАН. Область научных интересов — кристаллохимия неорганических соединений, ртутные минералы.*

*Станислав Васильевич Борисов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией того же института. Занимается кристаллохимией и кристаллографией.*

*Наталья Викторовна Первухина, кандидат химических наук, старший научный сотрудник того же института. Научные интересы связаны с кристаллохимией, комплексными соединениями и ртутными минералами.*

*Надежда Арсентьевна Пальчик, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Объединенного института геологии, геофизики и минералогии. Область научных интересов — кристаллохимия и генезис ртутных минералов, минеральные ассоциации.*



звание “меркурий” (mercury) для ртути дошло до нашего времени. Удивительную ртуть, растворяющую все металлы и вновь выделяющую их при нагревании амальгам, считали матерью всех металлов (“металлы рождаются из ртути”), носителем их металлических свойств. Ртуть приписывали совершенно сверхъестественные свойства. Так, некий алхимик утверждал, что после растворения золота в ртути его количество возрастает, ртуть, как говорили, “размножает” золото. Твердую ртуть, ковкую, как свинец, впервые, в 1759 г., получили И.А.Браун и М.В.Ломоносов, заморозив ее в смеси из снега и концентрированной азотной кислоты. Известие о “фиксации” ртути произвело сенсацию, стало одним из наиболее убедительных доказательств, что она — такой же металл, как и все.

Этот уникальный по своим физическим свойствам элемент имеет и весьма необычную кристаллохимию, в корне отличающуюся от таковой цинка и кадмия — его более легких соседей по Периодической системе. Проявляя характерное для элементов этой группы состояние окисления +2, ртуть может существовать и в более низких валентностях, причем не в виде отдельных катионов  $Hg^+$ , а как единственные в своем роде полиатомные кластеры, самые разные группировки, вплоть до уникальнейших линейных систем типа  $Hg_n$  ( $n = 3, 4, \infty$ ). В них атомы металла связаны между собой, а сама ртуть имеет дробные степени окисления: +2/3, +1/2, +1/3. Свойства таких линейных соединений приближаются к металлическим по мере увеличения числа атомов ртути<sup>1</sup>. Заметим, кстати, что самые высокотемпературные сверхпроводники, открытие которых стало важнейшим достижением уходящего века, получены в сложных системах со ртутью, например для

$HgBa_2Ca_2Cu_3O_{8-x}$   $T_c = 135$  К.

До сих пор во взглядах физиков-теоретиков на электронное строение не только линейных систем  $Hg_n^{2+}$ , но даже простых соединений  $HgX_2$  и  $Hg_2X_2$  нет единства. Этот тяжелый элемент с замкнутой электронной конфигурацией  $5d^{10}6s^2$  как бы сконцентрировал в себе все факторы, которые затрудняют изучение электронного строения его соединений методами квантовой химии: большую атомную массу, отсутствие в атоме незаполненных электронов, заполненные валентные  $5d$ - и  $6s$ -орбитали, наличие высоколежащих внешних вакантных  $6p$ -орбиталей и значительное влияние релятивистских эффектов на электронное строение атома и ионов ртути<sup>2</sup>.

Традиционные методы исследований соединений, содержащих такие тяжелые элементы, как ртуть, — порошковая и монокристаллическая рентгенография и нейтронография. Определение легких атомов водорода, OH-групп, воды в присутствии тяжелых атомов ртути требует иногда привлечения ИК-спектроскопии, а для контроля химического состава природных образцов широко используются методы электронно-зондового анализа.

## Многообразие структур при схожести отдельных элементов

**Ионы  $Hg^{2+}$  в соединениях двухвалентной ртути.** В большинстве таких веществ ртуть образует или две линейные ( $sp$ ), или четыре тетраэдрические ( $sp^3$ ) ковалентные связи. Известно единственное простое ионное соединение ртути —  $HgF_2$  (со структурой флюорита  $CaF_2$ ), в котором ион  $Hg^{2+}$  окружен семью равноудаленными ионами фтора. Даже кислород недо-

статочно электроотрицателен, чтобы ионизовать атом ртути. В большинстве кислородсодержащих соединений двухвалентная ртуть образует с анионами две прочные короткие связи, при этом часто присутствуют и более слабые связи, дополняющие координационное окружение металла до тетраэдрического или, очень редко, до октаэдрического. Таким образом, группировка O-Hg-O с углом OHgO около  $180^\circ$  и расстоянием Hg-O  $\sim 2.04$  Å — основной линейный строительный элемент в кристаллических структурах соединений  $Hg(II)$ . Эти элементы могут комбинироваться в них как отдельные ионы или молекулы (моно-, би-, трехъядерные); образовывать бесконечные цепи, зигзагообразные или спиральные (как, например, в ромбической и гексагональной модификациях  $HgO$ ); цепи могут замыкаться в кольца, объединяться с добавочными атомами Hg, образуя самые разнообразные плоские или гофрированные сетки и двумерные слои либо всевозможные трехмерные каркасы.

Отметим, что особенности методики определения легких атомов в присутствии тяжелых (Hg), а также кристаллохимические свойства  $Hg^{2+}$  описаны еще в 60-х годах К.Ауривиллиус, изучавшей кристаллические структуры ряда ртутьсодержащих соединений<sup>3</sup>.

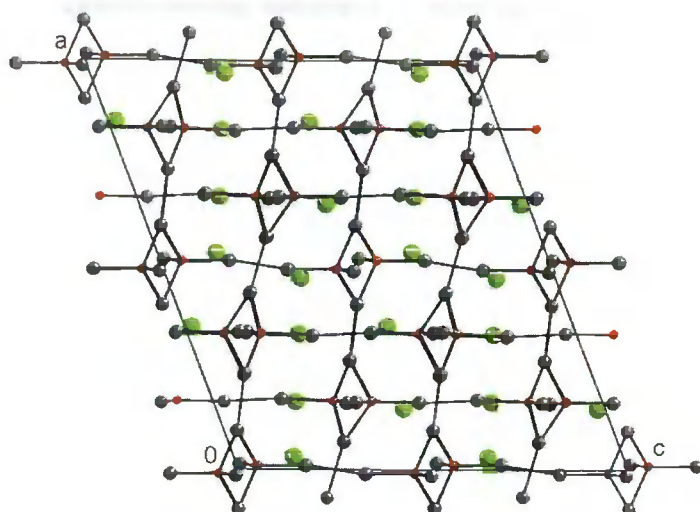
**Ртутные гантели в минералах.** Многие из упомянутых элементов кристаллической структуры обнаруживаются и в природных ртутных минералах, коих к настоящему времени насчитывается почти восемь десятков. Из них около 20 содержат ртуть в формальной степени окисления меньше двух. Эти очень редкие соединения обнаружены в зонах окисления ртутных месторождений, где образуются за счет гипергенных процессов, т.е. протекающих

<sup>1</sup> Wells A. F. Structural Inorganic Chemistry. Oxford, 1984.

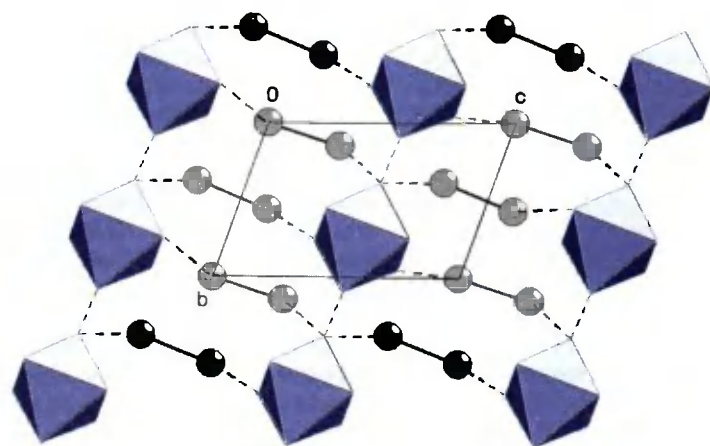
<sup>2</sup> Волкова В. М., Магарилл С. А. // Журн. структур. химии. 1999. Т. 40. С. 314—323.

<sup>3</sup> Aurivillius K. // Arkiv Kemi. 1965. B. 24. S. 151—200.

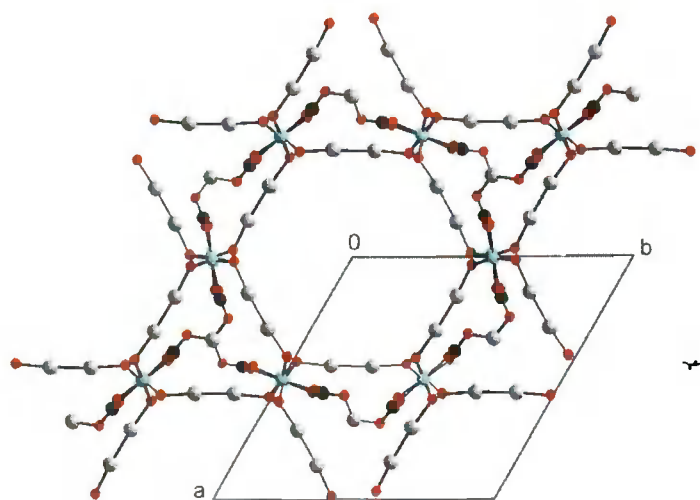




поюрковит



шаховит



шиманскиит

в поверхностных частях пород. Здесь первичные, преимущественно киноварные, руды подвергаются преобразованиям, в результате которых ртуть сначала переходит в раствор, затем вступает в реакцию с наиболее активными элементами зоны окисления и в таком связанном виде перетлагается. Как правило, в окисленных рудах присутствуют одновременно многие редкие минералы, видимо, из-за того, что они способны к взаимопревращениям, поскольку почти все в той или иной степени неустойчивы. Наибольшее число новых гипергенных ртутных минералов открыто и исследовано специалистами канадской школы (А.С.Робертсом, Я.Т.Шимански и др.) и новосибирскими учеными, в том числе и авторами данной статьи. Этими же группами исследователей определены и кристаллические структуры минералов.

Строение природных и синтезированных галогенидов дитрути состава  $\text{Hg}_2\text{X}_2$  ( $\text{X}$ : F, Cl, Br) начали изучать еще в 1925 г. Тогда определяли параметры элементарных ячеек соединений и координаты атомов по порошковым данным. Закончились эти работы только в 1989 г., когда была установлена кристаллическая структура каломели  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  с помощью по-

*Кристаллические структуры минералов с кластерами  $(\text{Hg}_2)^{2+}$ . В поюрковите такие пары располагаются перпендикулярно друг другу, в шаховите этими же димерами объединяются слои из сурьмусодержащих октаэдров, а в шиманскиите гантели входят в состав линейных фрагментов  $\text{O}-\text{Hg}-\text{Hg}-\text{O}$  и, будучи связанными с октаэдрами  $\text{MO}_6$ , образуют каркас с внутренними гексагональными туннелями.*

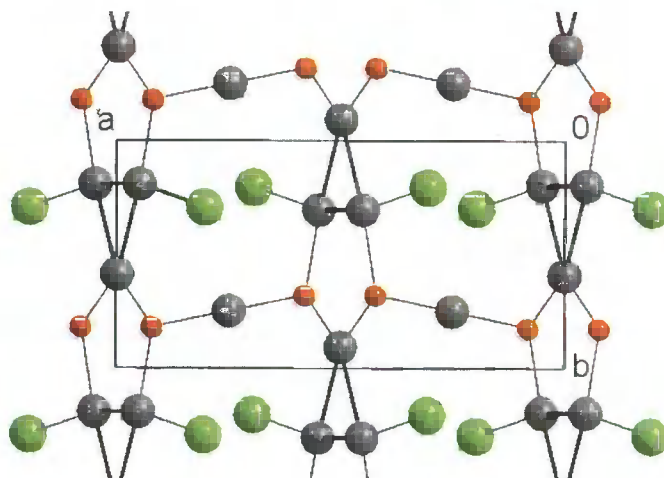
*Здесь и далее компьютерная графика Н.В.Первухиной*

рошковой нейтронографии. Именно в этой структуре подтвердилось существование гантели  $(\text{Hg}-\text{Hg})^{2+}$ , в которой расстояние между атомами ртути равно 2.60 Å (для других галогенидов —  $\text{Hg}_2\text{F}_2$ ,  $\text{Hg}_2\text{Br}_2$  — оно составляет 2.51 и 2.49 Å соответственно). В том же году был открыт новый ртутный минерал мошелит  $\text{Hg}_2\text{I}_2$  — иодный аналог каломели. Однако его структура не определена из-за очень малых размеров монокристаллов<sup>4</sup>.

Ряд ртутных минералов, содержащих гантели, при учете всех прочных межатомных связей, представляют собой трехмерные ртуть-кислородные каркасы. Такое строение, как мы недавно установили, имеет редкий минерал поярковит  $\text{Hg}_2\text{OCl}$  (кстати, он содержит рекордную долю катионов ртути по отношению к анионам кислорода — 3:1): в нем имеется шесть пар  $(\text{Hg}_2)^{2+}$  (с расстояниями от 2.50 до 2.57 Å), причем располагаются они в трех взаимно перпендикулярных направлениях<sup>5</sup>. Атомы кислорода, а каждый из них образует четыре тетраэдрически направленные связи  $\text{Hg}-\text{O}$  длиной 1.94–2.51 Å, соединяют ртутные пары в каркас.

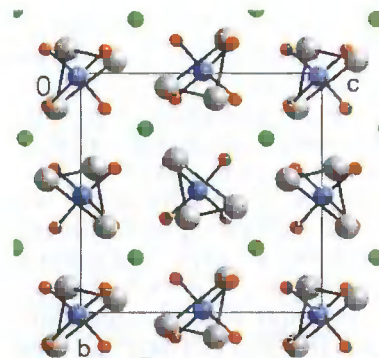
В другом минерале — шаховите  $\text{Hg}_2\text{SbO}_3(\text{OH})_2$ , структуру которого мы определили, — соседние сурьмусодержащие октаэдры объединены в слои за счет контактов между атомами кислорода. Слои в свою очередь связаны в каркас гантелями. Позиции атомов водорода нам не удалось установить, однако расстояния  $\text{O}-\text{O}$  таковы, что позволяют предположить наличие водородных связей между  $\text{Sb}$ -октаэдрами одного уровня. Но разные уровни структуры связаны ртутными гантелями через фрагменты  $\text{O}-\text{Hg}-\text{Hg}-\text{O}$ .

Еще одна структурная раз-



*Минерал терлингвайт. В его структуре треугольные кластеры  $(\text{Hg}_3)^{4+}$  лежат в одной плоскости и образуют два типа слоев —  $\{(\text{Hg}_3)^{4+}\text{O}_2\}$  и  $[\text{Hg}^{2+}\text{Cl}]$ , которые перемежаются между собой.*

*Структура кузнецовита. В его кубической решетке чередуются треугольники  $(\text{Hg}_3)^{4+}$  и тетраэдры  $(\text{AsO}_4)^{3-}$ .*



новидность обнаружена К.Мерейтером и Я.Циманном. В 1976 г. с помощью порошковой нейтронографии и ИК-спектроскопии они изучили структуру очень редкого гидроксохлорида ртути — минерала эглестонита  $[\text{Hg}_2]\text{Cl}_2\text{O}_2\text{H}$ . Его кубической формы элементы кристаллической решетки построены из сеток состава  $(\text{Hg}_2)_3\text{O}_2$ , которые взаимно пронизывают друг друга, а атомы кислорода образуют по три связи  $\text{Hg}-\text{O}$  и соединяют гантели  $(\text{Hg}-\text{Hg})$ , расположенные вдоль каждой связи сетки. Последние между собой объединены короткими водородными  $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}$ -связями и атомами хлора.

Минерал шиманскиит  $\text{Hg}_{16}(\text{Ni},\text{Mg})_6(\text{CO}_3)_{12}(\text{OH})_{12}(\text{H}_2\text{O})_8 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , структура которого установлена Шимански и Робертсом

в 1990 г., стоит особняком. В шиманскиите октаэдры  $\text{MO}_6$  ( $\text{M}$ :  $\text{Ni}$ ,  $\text{Mg}$ ) связаны с линейными фрагментами  $\text{O}-\text{Hg}-\text{Hg}-\text{O}$  в прочный каркас, внутри которого имеются крупные туннели (диаметром до 13 Å). В них расположены относительно слабо взаимодействующие друг с другом разупорядоченные  $\text{CO}_3$ -группы и молекулы воды, на основании чего этот минерал можно считать несиликатным цеолитом. Отметим, что шиманскииту свойственна редкая и нехарактерная для соединений “одновалентной” ртути черта — “зонтичное” окружение атомов ртути одного из сортов гантелей тремя атомами кислорода.

Итак, эта пара имеется во всех соединениях одновалентной ртути — и синтетических,

<sup>4</sup>Первухина Н.В., Романенко Г.В., Борисов С.В. и др. // Журн. структур. химии. 1999. Т.40. С.561–581.

<sup>5</sup>Vasil'ev V.I., Pervukhina N.V., Romanenko G.V. et al. // Canadian Mineralogist. 1999. V.37. P.119–126.

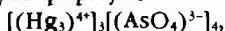
и природных. Минералам же (и не только им), содержащим кислород, присуща полимеризация ртуть-кислородных групп. Именно они составляют основной линейный строительный элемент кристаллической структуры.

**Ионы, димеры и треугольники.** Помимо соединений с парами  $(\text{Hg}_2)^{2+}$  существует ряд довольно редких веществ, в составе которых присутствуют и ионы двухвалентной ртути, и группы  $\text{Hg}_n$  ( $n = 2, 3$ ) с более низким состоянием ее окисления. Иными словами, ртуть в таких веществах проявляет разную валентность. Впервые о соединениях ртути со смешанной валентностью (+2 и +1) заявил в 1956 г. С.Скавникер, исследовавший искусственный аналог редкого природного оксохлорида ртути — минерал терлингуаит  $\text{Hg}_8\text{O}_2\text{Cl}_2$ . В дальнейшем изучалась структура как самого минерала, так и его синтетических аналогов. В результате подтвердилось, что атомы ртути в терлингуаите находятся в двух состояниях окисления (+2 и +4/3), а в элементарной ячейке чередуются слои  $(\text{Hg}^{2+}\text{Cl}_2)$  и  $\{(\text{Hg}_3)^{4+}\text{O}_2\}$ . Примечательно, что последние состоят из треугольных кластеров  $(\text{Hg}_3)^{4+}$ , лежащих в одной плоскости, и вместе с первыми образуют трехмерный ртуть-кислородный каркас. Слои, содержащие сильные связи  $\text{Hg}-\text{Hg}$ , обуславливают анизотропию физических свойств терлингуаита.

Кроме него известны всего два неорганических соединения ртути с треугольниками  $(\text{Hg}_3)^{4+}$  — редкий гипергенный минерал кузнецовит и синтетическое вещество состава  $\text{Hg}_3\text{As}_4\text{O}_{16}$  (формальная степень окисления атомов ртути в них равна +4/3, но по сути они не относятся к веществам со смешанной валентностью). Недавно мы уточнили кристаллическую структуру кузнецовита  $\text{Hg}_3\text{As}_4\text{O}_{16}\text{Cl}$  и нашли, что в его кубической решетке вдоль каждой

из координатных осей треугольники  $(\text{Hg}_3)^{4+}$  чередуются с тетраэдрами  $(\text{AsO}_4)^{3-}$ . Если принимать во внимание только короткие  $\text{Hg}-\text{O}$  связи, в структуре можно выделить каркас с полостями, в которых располагаются ионы хлора<sup>6</sup>.

В синтетическом соединении, полученном в 1997 г. немецкими учеными А.Вессельс, В.Ейтчко и М.Моллером в виде светло-желтых кристаллов, тоже чередуются треугольники  $(\text{Hg}_3)^{4+}$  и тетраэдры  $(\text{AsO}_4)^{3-}$ . В этом веществе, которое соответствует формуле



атомы ртути окружены искаженными тетраэдрами из атомов кислорода. Но вернемся к соединениям с разной валентностью ртути.

В 1983 г. Ауривиллиус с сотрудниками попытались синтезировать бромный и иодный аналоги терлингуаита, однако получили кристаллы состава  $\text{Hg}_2\text{OI}$  и  $\text{Hg}_8\text{O}_4\text{Br}_2$ . Стехиометрия первого соединения была такой же, как у терлингуаита, но рентгеноструктурное исследование выявило совершенно несхожее строение: бесконечные зигзагообразные цепочки  $\text{Hg}^{2+}-\text{O}-\text{Hg}^{2+}$  соединялись димерами  $(\text{Hg}_2)^{2+}$  в 14-членные кольца, которые образовывали трехмерный каркас за счет слабых  $\text{Hg}-\text{O}$  связей. Атомы иода располагались в полостях слоев.

Структура второго соединения отличалась от структуры и терлингуаита, и  $\text{Hg}_2\text{OI}$ . Асимметричная часть кристаллической ячейки  $\text{Hg}_8\text{O}_4\text{Br}_2$  содержала девять атомов ртути, образующих три пары  $(\text{Hg}_2)^{2+}$  и три изолированных атома  $\text{Hg}^{2+}$ . Со своими ближайшими соседями — атомами кислорода — пары соединялись в 12-членные кольца из элементов  $\text{O}-(\text{Hg}_2)^{2+}-\text{O}$ , а те, будучи связанными тоже с ди-

мерами  $(\text{Hg}_2)^{2+}$ , — в бесконечные сцепленные цепочки. Атомы  $\text{Hg}^{2+}$  с ближайшими атомами кислорода выстроены в спиральные цепи, подобные тем, что найдены в ромбической и гексагональной модификациях оксида ртути  $\text{HgO}$ . Таким образом, атомы кислорода связывают “двухвалентную” и “одновалентную” части структуры в трехмерный каркас, в полостях которого локализованы атомы брома.

В необычном ванадате ртути  $\text{Hg}_2\text{VO}_4$  пары  $(\text{Hg}_2)^{2+}$  и ионы  $\text{Hg}^{2+}$  вместе с частью кислородных атомов соединяются в цепи, образующие правые и левые спирали на поверхности смежных каналов. Вдоль короткого периода спирали структура выглядит, словно 14-членные кольца, как в  $\text{Hg}_2\text{OI}$ .

В настоящее время обнаружено всего несколько природных соединений ртути со смешанной валентностью. Как и редкие минералы, содержащие только димеры  $(\text{Hg}_2)^{2+}$ , они очень неустойчивы, поэтому изучение их структур весьма трудоемко. Тем не менее упомянутый уже Робертс (с коллегами) недавно установил структуру минерала ханавалтита  $(\text{Hg}')_6\text{Hg}^{2+}\text{O}_3\text{Cl}_2$ . В нем трехмерный каркас, в полостях которого находятся атомы хлора, образован фрагментами  $\text{O}-\text{Hg}^{2+}-\text{O}$  и  $\text{O}-(\text{Hg}_2)^{2+}-\text{O}$ . Важная особенность этой структуры — расположение всех гантелей  $(\text{Hg}_2)^{2+}$  примерно в одной плоскости с образованием волнообразных слоев. Исследователи связывают плоский “габитус” кристаллов минерала с наличием сильных связей между атомами ртути в димерах, а хорошую спайность в перпендикулярном направлении объясняют более слабыми связями слоев через ионы  $\text{Hg}^{2+}$ .

Отмеченная здесь тенденция к полимеризации ртуть-кислородных групп в соединениях двухвалентной ртути сохраняется и в веществах, в которых атомы этого элемента имеют

<sup>6</sup> Романенко Г.В., Первухина Н.В., Борисов С.В. и др. // Журн. структур. химии. 1999. Т.40. С.324–330.

разную валентность<sup>7</sup>. Пары формально одновалентной ртути образуют линейные фрагменты  $O-(Hg_2)^{2+}-O$  и, комбинируясь разными способами с линейными элементами  $O-Hg^{2+}-O$ , служат единой строительной единицей. В результате образуются поликатионы различного типа — бесконечные цепи, кольца, гофрированные или плоские сетки, слои или каркасы. Аналогичную роль играет и треугольная группа  $(Hg_3)^{4+}$ . В содержащих ее строительных блоках отклонение от линейности больше, чем в тех, в состав которых входят ионы  $Hg^{2+}$ . Обусловлено оно, вероятно, наличием сильной металлической связи. Длина связей в парах Hg-Hg меняется мало и практически не зависит от координационного окружения атомов ртути.

**Кластеры  $[Hg_n]^{4+}$ .** Полимеризация атомов ртути (образование кластеров) характерна для всех упомянутых здесь соединений. Пока в качестве кластеров рассматривались в основном гантели и треугольники. Но известны и более протяженные группировки атомов ртути в кристаллической структуре разных веществ.

Такой пример являют собой соединения, полученные в реакции ртути  $Hg(II)$  с гексафторидами мышьяка —  $Hg_3(AsF_6)_2$  и  $Hg_4(AsF_6)_2$  (позже были синтезированы аналогичные вещества, содержащие не мышьяк, а ниобий, тантал или сурьму). В тех и других ртуть образует линейные изолированные группировки: в первом — трехатомные, во втором — четырехатомные с формальной валентностью  $+2/3$  и  $+1/2$  соответственно. В катионе  $(Hg_3)^{2+}$  длины связей между атомами ртути практически одинаковы и равны 2.55 Å, в то время как в ионе  $(Hg_4)^{2+}$  они не только немного длиннее, но и отличаются друг от друга: в концевых парах Hg-Hg их дли-

на составляет 2.62–2.63 Å, а в центральных — 2.588 и 2.593 Å. Расстояния между соседними катионами  $(Hg_4)^{2+}$  (2.985, 3.033 Å) близки к кратчайшему расстоянию в металлической ртути (2.99 Å), так что структура представляет собой бесконечные зигзагообразные цепочки из атомов Hg.

В 1971 г. американские и канадские ученые начали эксперименты по растворению ртути в сильно кислых неводных растворителях<sup>8</sup>. При взаимодействии с раствором  $AsF_5$  в сернистом ангидриде  $SO_2$  жидкая ртуть превращалась в золотистую кристаллическую массу. Проведя химический анализ кристаллов, экспериментаторы выяснили, что этот замечательный материал, названный ими “золотом алхимиков” (“alchemist’s gold”), имеет эмпирическую формулу  $Hg_3AsF_6$ . Он оказался диамагнитен, а его точная формула, по рентгеноструктурным данным, была несколько иной —  $Hg_{2.86}AsF_6$ . В этом соединении содержались единственные в своем роде металлически связанные бесконечные полимерные катионы, которые составляли часть ионной кристаллической решетки.

Структуру этого уникального анизотропного сверхпроводника ( $T_c = 4.14$  К) можно описать как решетку из октаэдрических анионов  $AsF_6^-$ , размещенных в ячейке (по закону кубической плотнейшей упаковки), внутри которой проходят линейные непересекающиеся каналы в двух почти перпендикулярных направлениях. Вдоль осей каналов расположены разупорядоченные цепочки атомов ртути, каждый с формальной степенью окисления  $+0.33$  и расстоянием Hg-Hg 2.64 Å. Отметим, оно значительно короче, чем в металлической ртути (2.99 Å), но в ней каждый атом имеет 12 соседей, а в золотистых кри-

сталлах — только два. Это объясняет анизотропную проводимость в кристалле, максимальную вдоль цепочек.

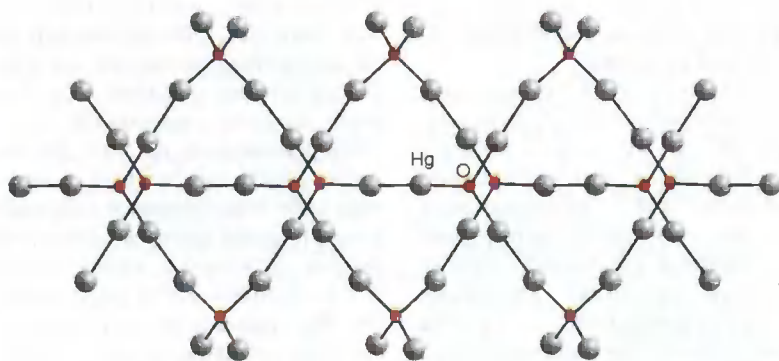
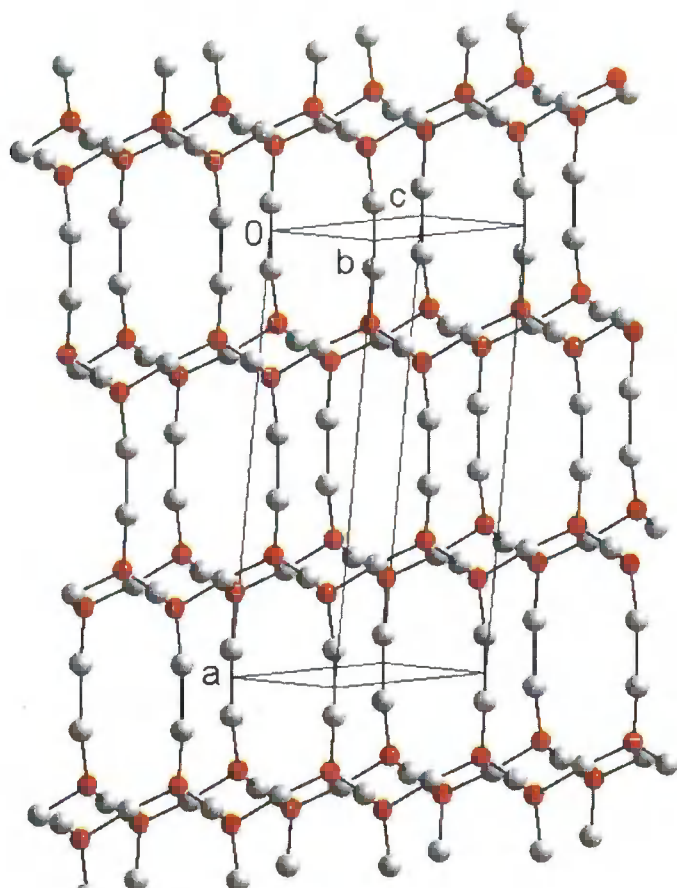
Получение и исследование золотистых кристаллов состава  $Hg_{3.8}NbF_6$  и  $Hg_{3.8}TaF_6$  с длинными цепями из атомов ртути привело к неожиданному открытию соединений нового типа. Если из реакционной смеси, содержащей непрореагировавшую ртуть, а также ионы  $(Hg_3)^{2+}$  и  $(Hg_4)^{2+}$ , не удалять золотистые кристаллы, они трансформируются в тонкие гибкие серебристые пластинки, напоминающие алюминиевую фольгу. Такие пластинки можно получить и прямо — просто проводя реакцию при охлаждении ( $-35^\circ C$ ). Состав серебристых кристаллов, в отличие от золотистых, строго стехиометричен —  $Hg_3MF_6$  (M: Nb, Ta), а температура сверхпроводящего перехода более высокая ( $T_c = 7$  К). В серебристых кристаллах обнаружены плотноупакованные слои  $MF_6^-$ -октаэдров, разделенные гексагональными слоями атомов ртути. Близкие по размерам атомы ртути и фтора образуют кубическую плотноупакованную решетку, в которой слои Hg переложены двойными слоями F, где атомы металла (ниобия или тантала) занимают треть октаэдрических пустот. Любой атом ртути соседствует с шестью себе подобными в пределах слоя и тремя атомами фтора из рядом лежащего (расстояние 3.2 Å). В слоях ртути расстояния Hg-Hg длиннее, чем в цепочках, где они связаны только с двумя соседями, но короче, чем в элементарной ртути. Интересно, что в присутствии жидкого  $SO_2$  серебристые кристаллы при температуре  $120^\circ C$  быстро превращаются в золотистые, т.е. наблюдается обратимый структурный переход цепочек в слои.

Подчеркнем, в соединениях ртути со фтором и фторидными анионами  $(MF_6)^-$  существует строгая взаимосвязь между величиной усредненного формального заряда на атоме рту-

<sup>7</sup> Первухина Н.В., Магарилл С.А., Борисов С.В. и др. // Успехи химии. 1999. Т.68(8). С.683–707.

<sup>8</sup> Brown I.D., Datars W.R., Gillespie R.J. et al. // J. Solid State Chem. 1985. V.57. P.34–49.





*Ртуть-кислородные группы в синтетических соединениях  $\text{Hg}_2\text{OI}$  и  $\text{Hg}_2\text{O}_4\text{Br}$ . В структуре первого вещества (вверху) цепочки  $\text{Hg}_2^{2+}\text{-O-Hg}^{2+}$ , соединяясь с парами  $(\text{Hg}_2)_2^{2+}$ , образуют 14-членные кольца  $[-2(\text{Hg}_2)_2^{2+}\text{-6O-4Hg}^{2+}]$ , второго — кольца 12-членные и состоят из групп  $[-\text{O}-(\text{Hg}_2)_2^{2+}\text{-O-}]$ , которые связаны димерами в бесконечные цепи.*

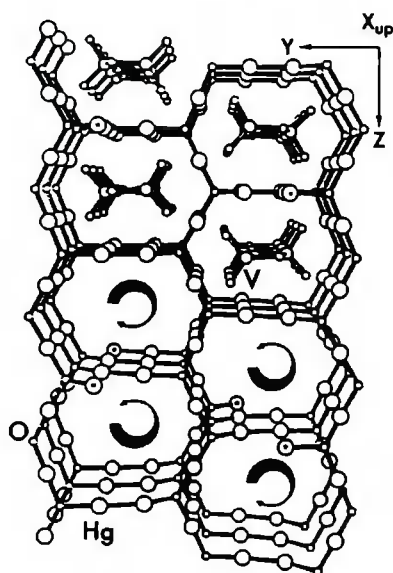
ти, ближайшими расстояниями  $\text{Hg-F}$ , строением катиона  $\text{Hg}_n$  и расстоянием  $\text{Hg-Hg}$  в нем. С уменьшением заряда на атоме  $\text{Hg}$  от +1 до +0.33 кратчайшие расстояния  $\text{Hg-F}$  увеличиваются от 2.13 (в  $\text{Hg}_2\text{F}_2$ ) до 3.2 Å (в  $\text{Hg}_3\text{NbF}_6$ ), размер и n-кратность катиона  $\text{Hg}_n$  возрастают, проходя стадии от конечных  $(\text{Hg}_2)_2^{2+}$ ,  $(\text{Hg}_3)_3^{3+}$ ,  $(\text{Hg}_4)_4^{4+}$ , приблизительно линейных групп до бесконечной цепочки  $\text{Hg}_\infty$  и плоских слоев из атомов ртути. Расстояния  $\text{Hg-Hg}$  в этих катионах увеличиваются от 2.51 до 2.90 Å.

## Законы упаковки ртутных кластеров

Анализируя структуры неорганических соединений, содержащих группы  $[\text{Hg}_2]^{2+}$  и  $[\text{Hg}_3]^{3+}$ , мы поняли, что каждый кластер ртути с позиций классической кристаллохимии целесообразно рассматривать как единый катион с координатами геометрического центра этой группировки<sup>9</sup>. Тогда катионы  $[\text{Hg}_2]^{2+}$  и  $[\text{Hg}_3]^{3+}$  будут эквивалентны по размеру, например, одновалентному катиону цезия. В такой трактовке структуру кубического ( $a = 8.38$  Å) кузнецовита  $\text{Hg}_2\text{AsO}_4\text{Cl}$  можно представить как кубическую (примитивную) упаковку полиатомных групп  $[\text{Hg}_2]^{2+}$  и  $[\text{AsO}_4]^{3-}$  с ребром, равным  $a/2 = 4.19$  Å. Анионы хлора в этой упаковке располагаются по алмазному закону — в шахматном порядке — и центрируют половину таких кубов.

Взаимная укладка крупных фрагментов структуры —  $[\text{Hg}_2]^{2+}$  и  $\text{Cl}^-$  — свойственна кубическому ( $a = 16.04$  Å) минералу эггестониту  $[\text{Hg}_2]\text{Cl}_2\text{O}_2\text{H}$ , но в нем по узлам примитивной кубической решетки с ребром  $a/4$  располагаются центры гантелей  $[\text{Hg}_2]$ , а  $\text{Cl}^-$  центрирует 3/4 таких яче-

<sup>9</sup> Борисов С.В., Магарилл С.А., Романенко Г.В., Первушина Н.В. // Журн. структур. химии. 2000. Т.41. С.431–441.



Смежные бесконечные каналы в ванадате ртути.

ек. Ряды центров гантелей с периодом около 4 Å выделяются также в структуре поярковита  $\text{Hg}_2\text{OCl}$ . Сопоставив эти высокосимметричные структуры с остальными (терлингитом, пинчитом и др.), можно отметить характерную для всех черту — наличие плоскостей, плотно заполненных отдельными атомами ртути или центрами групп ртути и пересекающихся в кристаллах под углом  $60^\circ$  или близким к нему. Линии и точки пересечения плоскостей задают положение и крупных анионов —  $\text{Cl}^-$ ,  $(\text{AsO}_4)^{3-}$  и других, — создавая симметричные пространственные структуры, относительно устойчивые к изменению атомного состава. Так, например, при сохраняющемся общем строении возможна замена димеров  $[\text{Hg}_2]^{2+}$  на ионы  $\text{Hg}^{2+}$ , что весьма важно для понимания природных процессов.

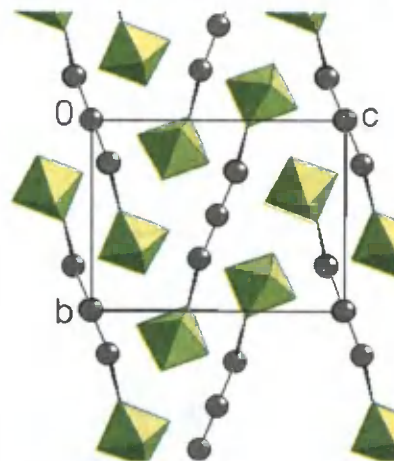
Проанализировав около 20 структур природных и синтезированных неорганических соединений, содержащих пару (Hg-Hg) или треугольник  $(\text{Hg}_3)$  мы пришли к выводу, что с кристаллохимических позиций целесообразно описывать координационное окружение таких

группировок в целом. Во всех случаях координационные полиэдры — это выпуклые многогранники с числом вершин от 8 до 14 и расстояниями от центра до вершин 3.00–3.91 Å. Критерий выбора окружения вокруг катиона  $\text{Hg}_n^{2+}$  — симметричность и выпуклость полиэдра, а также небольшие разбросы длин его ребер и значений расстояний от центра ртутной группировки до его вершин. Такое описание особенно полезно при сопоставлении и классификации, анализе строительнообразующих факторов, поскольку позволяет распространить классическую кристаллохимию на соединения с неоднородными химическими связями, в частности с псевдокластерами и кластерами, включенными в ионную структуру.

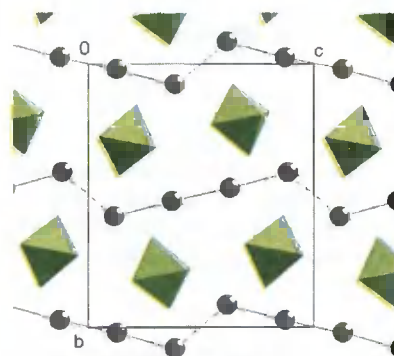
## Оксоцентрированные комплексы

От большинства породообразующих минералов наши объекты отличаются малым содержанием анионов: в поярковите, например, их в полтора раза меньше, чем катионов ртути.

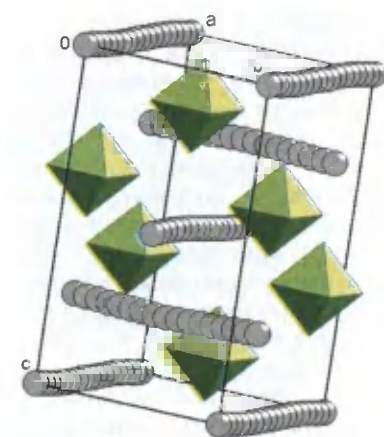
*Типы ртутных катионов  $\text{Hg}_n^{2+}$ . В структуре  $\text{Hg}_3(\text{AsF}_6)^2$  имеются линейные катионы  $(\text{Hg}_3)^{2+}$ , в  $\text{Hg}_4(\text{AsF}_6)^2$  — катионы  $(\text{Hg}_4)^{2+}$ , которые соединяются между собой в бесконечные зигзагообразные цепочки; в “золоте алхимиков” —  $\text{Hg}_{2.66}\text{AsF}_6$  — часть ионной кристаллической решетки составляют бесконечные полимерные катионы  $\text{Hg}_n$ , а в соединениях  $\text{Hg}_n\text{MF}_6$  (M: Nb, Ta) — гексагональные слои ртути.*



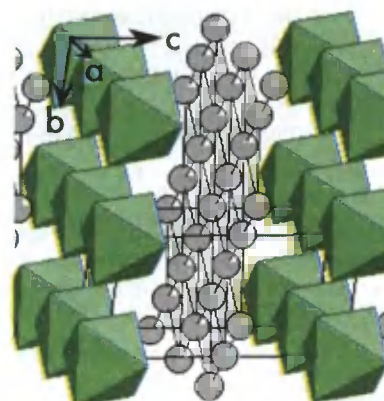
$\text{Hg}_3(\text{AsF}_6)_2$



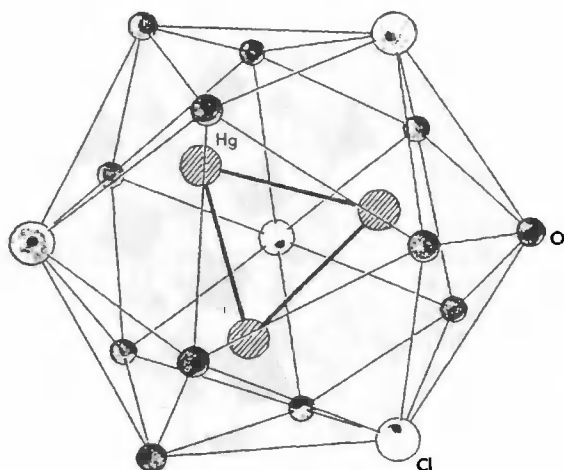
$\text{Hg}_4(\text{AsF}_6)_2$



$\text{Hg}_{2.66}\text{AsF}_6$



$\text{Hg}_3\text{MF}_6$



*Полиэдры и примитивный куб в кузнецовите. Окружение треугольника  $(\text{Hg}_3\text{O})^{4+}$  — это координационный полиэдр из 12 атомов кислорода и четырех атомов хлора; полиэдры  $(\text{Hg}_3\text{O})^{4+}$  и тетраэдры  $(\text{AsO}_4)^{3-}$  (сетчатая штриховка) упаковываются по закону кубической примитивной укладки.*

Из-за дефицита анионов, вероятно, и возникают кластеры, где насыщаются валентные связи в контактах Hg-Hg. В этих условиях анионы становятся своеобразными центрами образования полиатомных группировок — оксоцентрированных комплексов, которые, видимо, существуют в расплавах перед началом кристаллизации<sup>10</sup>. Идея оксоцентрированных комплексов уже плодотворно используется С.К.Филатовым и С.В.Кривовичевым с коллегами для описания обширной ассоциации медьсодержащих минералов, открытых на Камчатке<sup>11</sup>.

Как же выглядят изученные нами структуры, если для их описания применить этот новый взгляд?

Поярковит можно предста-

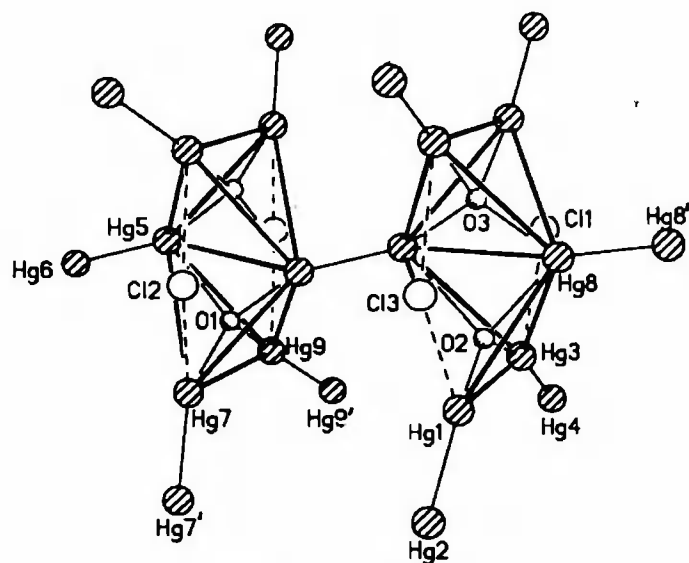
вить как “молекулу” состава  $[\text{Hg}_6\text{O}_2\text{Cl}_2]$ , которая образована двумя смежными по общему ребру тетраэдрами из атомов ртути (в центрах тетраэдров — атомы кислорода!) и примыкающими к граням двумя анионами хлора. Но этот крупный анион может быть отнесен к данной “молекуле” в некоторой степени формально, так как его контакты с атомами ртути других “молекул” — того же порядка. Ковалентная же связь образуется между атомами ртути, принадлежащими двум соседним кристаллографически неэквивалентным “молекулам”. Легко видеть, что атомы Hg в “молекуле” — двух сортов: четыре имеют по одной укороченной связи Hg-O, у двух других — по два коротких контакта. Сочленяясь друг с другом ковалентными связями Hg-Hg, “молекулы” образуют два вложенных друг в друга пространственных каркаса, связанных между собой двойной винтовой осью и подчиняющихся другим законам симметрии пространственной группы  $C2/c$ . Поскольку каждый

кислородный анион окружен тетраэдром из атомов ртути, это означает, что на нем сходятся концы четырех “линейных” цепочек связей O-Hg-Hg-O, т.е. он служит их точкой пересечения (узлом) в пространстве.

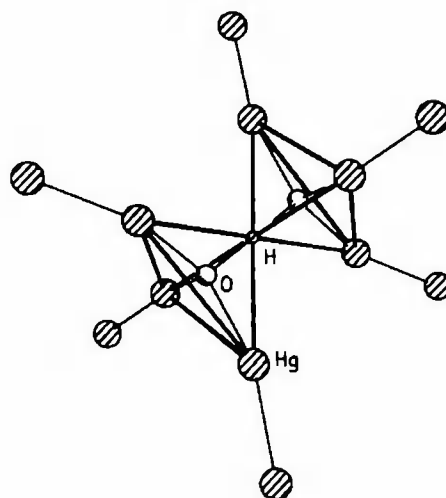
Такой же наглядный пример сложного поликатионного оксоцентрированного комплекса представляет собой и природный гидроксохлорид ртути — эглестонит  $[\text{Hg}_2]\text{O}_2\text{HCl}$ . В структуре этого минерала атом кислорода координирован, в отличие от поярковита, лишь тремя атомами ртути и образует плоскую пирамиду высотой  $h = 0.51$  Å, четвертая же из тетраэдрических связей кислорода направлена к водороду. Это позволяет рассматривать окружение кислорода как сильно уплощенный тетраэдр  $[\text{OHg}_3\text{H}]$ . Атомы водорода гидроксильных групп, расположенные в центрах симметрии, образуют симметричную водородную связь с коротким O...O контактом (2.49 Å). Это редкий случай, когда протон не препятствует полимеризации двух структурных единиц в на-

<sup>10</sup> Магарилл С.А., Романенко Г.В., Борисов С.В., Первухина Н.В. // Журн. структур. химии. 2000. Т.41. С.116—126; Борисов С.В., Магарилл С.А., Романенко Г.В., Первухина Н.В. // Химия в интересах устойчивого развития. 1999. №7. С.497—503.

<sup>11</sup> Кривовичев С.В., Филатов С.К., Семенова Т.Ф. // Успехи химии. 1998. Т.67(2). С.1—17.



попковит



эглестонит

*Оксоцентрированные комплексы в попковите и эглестоните. В первом минерале оксоцентрированная "молекула" образована двумя смежными по общему ребру тетраэдрами из атомов ртути, а к граням примыкают два аниона хлора. Во втором — структурная "единица"  $[O_2Hg_2H]$  состоит из двух оксотетраэдров.*

правлении О—Н связи, так как находится на одинаковых расстояниях от донора и акцептора. В результате возникает "единица"  $[O_2Hg_2H]$  из двух оксотетраэдров, связанных общей вершиной, которую и занимает протон. Все остальные вершины такой "единицы", как в попковите, соединяются ковалентными связями Hg—Hg в каркас, в полостях которого расположены ионы хлора.

Итак, ртутные группировки, если рассматривать каждую из них как единый катион, играют главную роль в образовании кристаллической решетки. Привлекая понятие об оксоцентрированных комплексах, можно уточнить детали строения редких ртутных минералов, объяснить и предсказать ряд их физических свойств.

\*\*\*

Кристаллохимический подход и современные методы физико-химического анализа поз-

воляют выявить динамику природных процессов, которые приводят к возникновению редких своеобразных ртутных минералов, расширяют представление об их генезисе и способствуют развитию общей теории минералообразования. Исследования взаимосвязей между составом, структурой, свойствами и условиями образования минералов уделяется большое внимание во всем мире. И это понятно, поскольку неоспоримо их значение как для решения фундаментальных проблем минералогии и кристаллохимии, так и для защиты окружающей среды.

В 50—60-е годы XX в. резко возросло содержание ртути в атмосфере. Причины этого — увеличение добычи ртути (примерно в четыре раза) и быстро растущее потребление нефти и природного газа, в которых этот элемент присутствует в заметных количествах<sup>12</sup>. Анализ

источников поступления ртути из земных глубин на поверхность, изучение ее миграционных свойств начинается с исследования ртутных минералов. Образовавшиеся в среде с дефицитом анионов, они содержат кластерные группировки, которые распадаются при выходе минералов на поверхность, вызывая разрушение или перестройку структур, часто сопровождающуюся выделением чистой ртути — опасного загрязнителя окружающей среды.

*Авторы выражают глубокую благодарность С.К.Филатову, С.В.Кривовичеву, Л.М.Волковой за интерес к работе, а также В.И.Васильеву за плодотворное обсуждение и предоставленные образцы минералов.*

**Работа выполняется при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант 98-05-65223. ■**

<sup>12</sup> Оболенский А.А., Озерова Н.А., Васильев В.И. // Там же. 1995. Т.3. С.11—22.



# Спиральная туманность в Большом Магеллановом Облаке

В.Г.Сурдин,  
кандидат физико-математических наук  
Москва



Объект №119  
в Большом Магеллановом Облаке.

F50 PT Photo 16c/99

Могут ли столкнуться два облака? Обычно мы не наблюдаем этого в атмосфере Земли, поскольку облака, плывущие по воле ветра, выделяются из окружающего воздушного массива лишь своей непрозрачностью. Иное дело в космосе. Облака межзвездного газа вполне самостоятельны, а по сравнению с окружающей их почти абсолютной пустотой плотны и массивны. Как и звезды, они движутся по баллистическим траекториям под управлением гравитационного поля галактики и почти не замечают сопротивления окружающей их разреженной среды. Однако, в отличие от звезд, которые практически никогда не сталкиваются друг с другом, огромные космические облака время от времени встречаются "в лоб" на весьма приличных скоростях. Что же из этого получается? Астрономы на этот вопрос отвечают так: "От встречи двух облаков рождаются звезды". Именно такой эпизод космической жизни удалось обнаружить международной группе астрономов (Annie Laval из Марсельской обсерватории, Patricia Ambrosio-Cruz из Мексиканского национального университета и др.), которые изучают соседнюю галактику Большое Магелланово Облако<sup>1</sup>.

Изображенная на фото эмиссионная туманность (объект №119) неспроста имеет четкую спиральную форму; ее вращение и особенности распределения газа указывают, что в этом месте косым ударом столкнулись два холодных межзвездных облака. Они слиплись и стали вращаться вокруг общего центра масс, как фигуристы, которые завертели, сцепившись руками. В области соударения облаков газ оказался сильно

сжат. Это привело к рождению целого скопления звезд (в центре красной фигуры), которые своим излучением разогрели остатки облака, и они стали видны в телескоп.

Фотография этой великолепной туманности получена на телескопе диаметром 2.2 м Европейской южной обсерватории Ла-Силья (Чили). Кроме описанного спирального облака, на ней еще немало примечательных объектов. Например, несколько богатых звездами шаровых скоплений (два особенно крупных расположены в нижнем правом углу фото). Это — скопления сравнительно молодых звезд. Таких нет в нашей Галактике, и, возможно, теперь мы понимаем причину этого: мощное гравитационное поле Галактики заставляет облака газа двигаться в ровном строю, как на параде, "плечом к плечу", не сталкиваясь. А Большое Магелланово Облако — галактика маленькая, она не может так строго "руководить" движением облаков газа, вот они и сталкиваются. (Невольно напрашиваются социальные аналогии, но мы оставим их на волю фантазии читателя.) А от столкновения облаков, как мы уже знаем, рождаются звездные скопления.

Любопытны технические детали этой съемки. Изображение получено не на фотопластинку, а электронным методом. Тем не менее угловой размер изображения очень велик ( $32' \times 32'$ ), в эту рамку как раз впишется полная Луна. К тому же этот электронный кадр имеет очень высокое разрешение ( $8000 \times 8000$  точек), которое удалось получить, используя комбинированный приемник света, составленный из восьми отдельных ПЗС-матриц. Однако на фото мы не видим границ между ними. Чтобы этого добиться, пришлось делать не одну, а четыре экспозиции, каждый раз слегка сдвигая телескоп.

Кроме того, для получения цветного изображения каждая серия экспозиций делалась сначала через голубой фильтр, затем через желто-зеленый и наконец через узкополосный красный фильтр, пропускающий только одну линию излучения ионизованного водорода (линию  $H_\alpha$ ). Совместив с помощью компьютера все 12 кадров, удалось получить безупречный цветной снимок большого участка неба.

Пока немногие обсерватории мира освоили подобную методику. Такие изображения не только трудно получить и обработать, но и непросто хранить — каждое из них занимает сотни мегабайтов компьютерной памяти. Но, как ни странно, даже в денежном выражении это обходится дешевле, чем фотопластинка. А надежность, сохранность, удобство обработки и распространения — выше любых мечтаний о новой технике, которые еще недавно могли себе позволить астрономы. Хочется верить, что скоро она станет доступна и отечественным специалистам. ■

<sup>1</sup> ESO Press Release. 22 June 1999; ESO Press Release Photos 26a—f/99.

# Почему Марс?

В.Н.Жарков, В.И.Мороз

**Н**а вопрос, зачем мы изучаем историю своей страны, В.О.Ключевский ответил: чтобы лучше понять самих себя. На вопрос, почему мы изучаем Солнечную систему, можно ответить: чтобы понять свое место в ней и во Вселенной. Центральная задача планетных исследований — создание научной теории образования и эволюции тел Солнечной системы (планет, спутников, комет и астероидов). Особо следует выделить проблему построения теории образования и эволюции Земли, способной дать прогноз дальнейшего ее развития. Это можно сделать только в рамках сравнительной планетологии<sup>1</sup>.

Марс с данной точки зрения представляет исключительный интерес. Не удивительно, что в исследованиях Солнечной системы космическими аппаратами ему уделялось большое внимание. Перечень марсианских миссий выглядит весьма внушительно: пролетные аппараты “Маринер-4 (1965), -6, -7 (1969)”, “Марс-4” (1974); искусственные спутники “Маринер-9” (1971), “Марс-2 и -3 (1971), -5 (1974)”, “Фобос-2” (1989),



**Владимир Наумович Жарков**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Объединенного института физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — физика высоких давлений, физика планетных недр, космогония, теория фигуры и собственных колебаний Земли и других планет. Лауреат премии им.О.Ю.Шмидта АН СССР (1980).

**Василий Иванович Мороз**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики планет и малых тел Солнечной системы Института космических исследований РАН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Государственной премии СССР (1985). Область научных интересов — физика планет и инфракрасная астрономия. Научный руководитель ряда экспериментов на космических аппаратах “Марс-2, -3, -5”, “Венера-9—15”, “Вега-1 и -2” и “Фобос-2”.

“Марс-Глобал-Сервейер” (1997, продолжает работать и сейчас); посадочные аппараты “Марс-6” (1974), “Викинг-1 и -2” (1976), “Марс-Патфайндер” с марсоходом “Соджорнер” (1997). Полученные результаты легли в осно-

ву современных представлений о поверхности, внутреннем строении и атмосфере Марса.

Бум, который в настоящее время наблюдается в науке о Марсе, связан, с одной стороны, с надеждой получить информа-

<sup>1</sup> Жарков В.Н. От физики Земли к сравнительной планетологии // Природа. 1998. №12. С.86—97.



цию о том, как формировалась Земля, о ранней эпохе ее развития, с другой — выяснить, действительно ли на раннем Марсе были условия для возникновения биологической активности.

Важную роль играет изучение SNC метеоритов, которые, считается, представляя собой куски марсианской коры. Данные, полученные в миссии “Марс-Патфайндер”<sup>2</sup>, этому не противоречат. На основе анализа изотопных систем Sm—Nd и Hf—W в SNC метеоритах показано, что дифференциация Марса — образование ядра и выделение коры — произошла в течение первых 100 млн лет, т.е. очень быстро<sup>3</sup>. Это можно рассматривать как прямое указание на эффективно горячее происхождение планеты.

Следующий вопрос, который подогревает интерес к изучению Марса: существуют ли доказательства биологической активности на Красной планете? Анализ бурных событий в этой области за последние несколько лет дан в статье А.Треймана<sup>4</sup>.

## Роль метеоритной бомбардировки

Постепенно становится ясно, что заключительная катастрофическая метеоритная бомбардировка — одна из важнейших эпох в истории Луны, Земли и Марса. На Луне следы этой бомбардировки сохранились в виде гигантских круговых морей и крупных кратеров. На Земле они полностью стерты. Марс занимает промежуточное положение: на нем можно обнаружить некоторые последствия таких событий. Например, в Южном полушарии — это ги-

гантские кратерные бассейны Эллада и Аргир. А в Северном — следы гигантских круговых кратеров стерты последующими геологическими процессами. На Луне круговые моря представляют собой масконы — понижения, характеризующиеся положительными гравитационными аномалиями, которые свидетельствуют о концентрации массы вблизи поверхности. По аналогии бассейн Исидис в Северном полушарии Марса скорее всего представляет собой реликт кругового моря. Более надежно следы описываемых событий смогут быть выявлены при широкомасштабных исследованиях Марса с помощью космических аппаратов, абсолютного датирования, создания и нормировки кратерной временной шкалы.

Наибольшее изменение в истории Марса, видимо, связано с тем, что катастрофическая бомбардировка по существу разрушила имевшуюся в то время плотную атмосферу планеты и теплый влажный климат сменился климатом близким к современному.

На Луне эпоха катастроф началась примерно 4.1 млрд лет назад (такой возраст имеет гигантский кратерный бассейн Аиткен с диаметром примерно 2250 км, расположенный у Южного полюса Луны), а закончилась около 3.8 млрд лет назад (дата образования Моря Восточного). Катастрофическая метеоритная бомбардировка завершила формирование лика Луны.

Данные, полученные космическими аппаратами серии “Аполлон”, привели к важным выводам: Луна и планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс) имеют горячее происхождение, т.е. в конце процесса формирования их недр были сильно разогреты и, возможно, частично расплавлены. Факт быстрого образования мощной коры на Луне привел к становлению новой идеи, согласно которой планеты земной группы в заключительной фазе

своего формирования проходили через стадию “океана магмы”. Под “океаном магмы” понимается частично расплавленный мощный наружный слой. Он перемешивается падающими планетезималями — телами астероидных размеров. Измерение абсолютного возраста лунных пород, доставленных на Землю, позволило создать временную кратерную шкалу — определение возраста поверхности по плотности расположенных на ней кратеров.

Пока на Земле не обнаружено следов катастрофической метеоритной бомбардировки<sup>5</sup>. Несмотря на то что Земля как планета сформировалась примерно 4.5 млрд лет назад, наиболее древние образцы горных пород, отобранные *in situ*, имеют возраст около 3.8 млрд лет. Древнейшие следы биологической активности на 50—100 млн лет моложе. Наиболее древние (3.4—3.5 млрд лет) ископаемые с клеточным строением встречаются в осадочных породах Южной Африки и Западной Австралии. На Земле эпоха от 4.5 до 3.8 млрд лет, от которой на поверхности не осталось следов, изучается с помощью изотопного анализа образцов горных пород, извлеченных из мантии, и атмосферных газов. Эти исследования указывают на то, что уже 4.4—4.3 млрд лет тому назад химическая дифференциация и дегазация Земли практически были завершены.

Тепловой поток из планетных недр характеризует основной масштаб внутренней энергетики планеты. По оценкам, теплотери из земных недр первые 0.6 млрд лет были более чем в пять раз выше современных. Это означает, что, не располагая данными о жизни планеты в то время, мы не можем судить о начальной ее эволюции, которая по своему масштабу эквивалентна эволюции за последние 3 млрд лет.

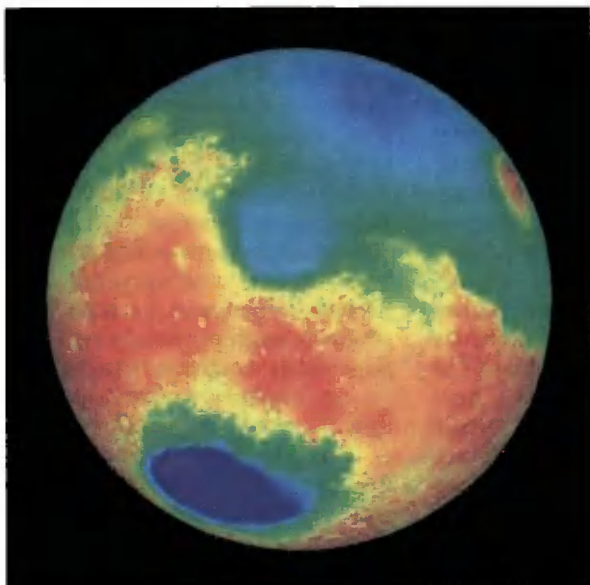
<sup>2</sup> J. Geophys. Res. 1999. V.104. №E4. P.8521—9096; Первые шаги на Марсе // Природа. 1998. №3. С.46—72.

<sup>3</sup> Harper C.L., Nyquist L.A., Bansal B. et al. // Nature. 1995. V.367. P.213—217; Lee D.C., Halliday A.N. // Ibid. 1997. V.388. P.854—857.

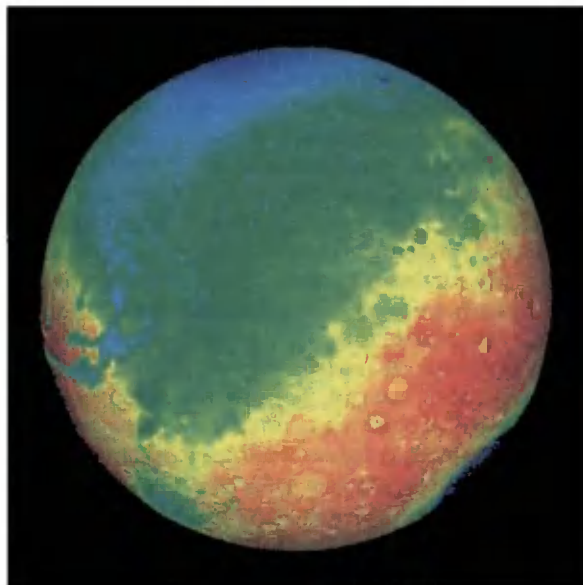
<sup>4</sup> Treiman A. // EOS. 1999. V.80. №18. P.205—209.

<sup>5</sup> Appel P.W.U., Moorbath S. // Ibid. №23. P.257—264.

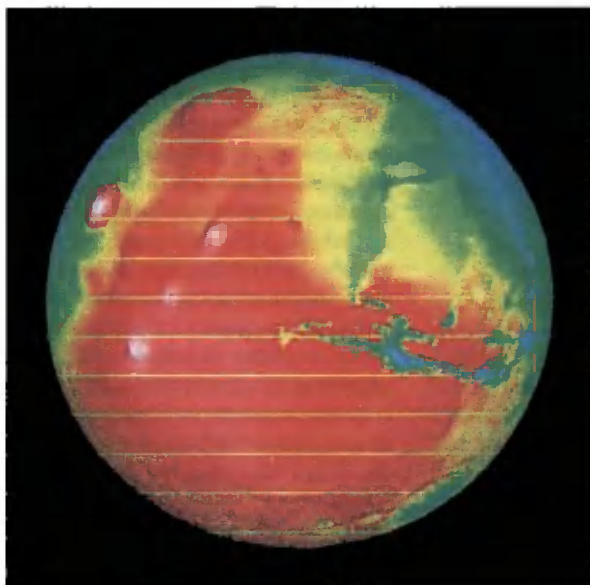




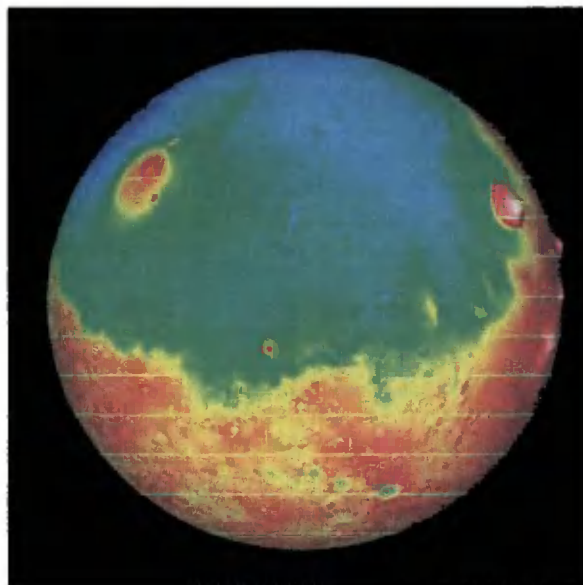
а



б



в



г

Гипсометрические карты полушарий поверхности Марса (с поворотом на 90°), построенные по данным измерений при помощи лазерного альтиметра на космическом аппарате "Марс-Глобал-Сервейер". Красным цветом отмечены положительные высоты (до 10 км); розовым и белорозовым — максимальные (более 10 км); зеленым и синим — отрицательные. Карты а, б и г хорошо демонстрируют явление дихотомии в геологическом строении поверхности Марса: северная половина планеты в среднем значительно ниже южной. Не исключено, что несколько миллиардов лет назад северная низменность была покрыта океаном. Анализ данных лазерной альтиметрии детально показал форму его береговой линии. На карте а (внизу) хорошо виден бассейн Эллада. На карте в, в левой части, выделяется плоскогорье Фарсида с четырьмя гигантскими потухшими вулканами — горами Олимп (вблизи края), Аскрийская (верхняя из тройки), Павлина и Арсия; в правой части прослеживается долина Маринеров — тектонический разлом протяженностью около 5000 км.

Данные о ранней Земле можно получить, рассматривая эволюцию лунной орбиты<sup>6</sup>. До эпохи катастрофической бомбардировки Луна отодвигалась от Земли за счет приливного трения в теле Земли. Такая ситуация соответствует планете, покрытой водной оболочкой — глобальным океаном. Катастрофическая бомбардировка привела к возникновению и росту континентального сегмента Земли, появлению мелководья, разрушение приливных волн на котором сопровождается сильным ростом приливного трения. Таким образом, после эпохи катастрофической бомбардировки отодвигание Луны от Земли связано с трением океанских приливов.

Мы уже отмечали, что поверхность Марса хранит следы событий, которые происходили в зоне планет земной группы до эпохи катастрофической бомбардировки. Одна из важнейших задач исследования Марса — сбор данных о ранней эпохе его развития, которые также помогут продвинуться в разработке теории ранней Земли.

## Проблема раннего Солнца и эволюция планет земной группы

Светимость раннего Солнца была примерно на 30% меньше современной. Это заключение получено на основе детальных численных моделирований эволюции звезд. Когда температура в центре звезды достигнет значений, при которых начинаются термоядерные реакции и превращение водорода в гелий, Солнце вступает на главную эволюционную ветвь звездной последовательности. "Горение" водорода приводит к выигрышу объема, т.е. происходит сжатие вещества, сопровождаемое увеличением температуры. Скорости термоядер-

ных реакций быстро повышаются с ростом температуры. Все это приводит к подъему температуры излучающей поверхности звезды и увеличению ее площади. Расчет как раз и показывает, что в эпоху (4.6 млрд лет тому назад) выхода Солнца на главную последовательность его светимость была примерно на 25—30% меньше современной. Рост светимости Солнца со временем может быть приблизительно описан линейным законом.

Низкая светимость молодого Солнца означает, казалось бы, что температура поверхности ранней Земли и Марса должна быть существенно меньше современной. Между тем имеются данные, согласно которым на Земле в архее был теплый влажный климат. Что касается Марса, то и в этом случае имеются аргументы в пользу теплого влажного климата<sup>7</sup>. В ту эпоху и атмосфера была намного плотнее современной. Кратеры диаметром в несколько десятков километров на территориях старше 3.5—3.8 млрд лет обнаруживают разный возраст. В раннюю эпоху (до заключительной тяжелой бомбардировки планеты, разрушившей плотную атмосферу) скорость эрозии кратеров составляла примерно 10 мкм в год. Эрозия кратеров, образовавшихся в более поздние эпохи, напротив, резко уменьшилась — до 0.01 мкм в год.

Предполагается, что относительно теплый климат на Земле и Марсе в ранние эпохи обеспечивался парниковым эффектом в их атмосферах, который создавался углекислым газом при небольшой примеси водяного пара<sup>8</sup>. Впервые эту модель предложили и количественно анализировали Л.М.Мухин и В.И.Мороз<sup>9</sup>. Лишь позднее ее стали рас-

сматривать западные исследователи<sup>10</sup> — без ссылок на наши работы. Напомним, что парниковый эффект играет огромную роль в формировании климата современной Земли, поддерживая среднюю температуру ее поверхности на 38 К выше эффективной (т.е. соответствующей равновесию планетарного уходящего и солнечного приходящего излучений). На современном Марсе парниковый эффект тоже есть, но гораздо более слабый, всего около 4 К.

Даже при давлении около 6 мбар углекислый газ обеспечивает некоторое увеличение температуры поверхности — благодаря мощной полосе поглощения вблизи длины волны 15 мкм, что частично блокирует выход теплового инфракрасного излучения. Однако эта полоса в спектре не широкая, а другие полосы CO<sub>2</sub> поглощают намного слабее. Кроме того, увеличение толщи атмосферы приводит к увеличению альбедо планеты, что еще более уменьшает солнечный поток, приходящий на поверхность. Чтобы поднять температуру Марса на 100 К и компенсировать эффект низкой светимости молодого Солнца, необходимо атмосферное давление примерно в 5 бар. Реальность этой оценки вызывает сомнения по двум причинам: конденсация углекислого газа изымает часть его из газовой фазы и, если на поверхности появляется жидкая вода, то она резко активизирует превращение силикатов в карбонаты (процесс Юри), также забирая CO<sub>2</sub> из атмосферы.

Одно из возможных решений предложили Ф.Форже и Р.Пиренхумберт. Они показали, что облака, состоящие из час-

<sup>6</sup> Жарков В.Н. // Астрон. вестн. 2000. Т.34. №1. С.1—12.

<sup>7</sup> Carr M.N. Global history of water and climate // Abst. 5-th Intern. Mars Conf. Pasadena, 1999.

<sup>8</sup> Мороз В.И. Физика планеты Марс. М., 1978.

<sup>9</sup> Мухин Л.М., Мороз В.И. // Письма в Астрон. журн. 1977. Т.3. С.78; Мороз В.И., Мухин Л.М. // Космич. исслед. 1978. Т.15. С.901.

<sup>10</sup> Kastings J.F., Toon O.B. Climate evolution on the terrestrial planets // Origin and Evolution of Planetary and Satellite Atmospheres / Eds S.K.Atreya, J.B.Pollack, M.S.Matthews. Tucson, 1989; Forget F., Pierrehumbert R.T. Warming of early Mars and Earth with CO<sub>2</sub> clouds ice clouds // Planetary Systems, the long view / Eds L.M.Celnikier, J.Tran Thank Van. 1998. P.299—302.

тиц конденсированного  $\text{CO}_2$ , при определенных условиях (достаточно крупных частицах) отражают вниз значительную долю теплового излучения, усиливая парниковый эффект. Это позволяет уменьшить оценку давления до 300 мбар. Что касается второй трудности (процесс Юри), то от нее можно освободиться, допустив, что температура поверхности Марса не поднималась выше  $0^\circ\text{C}$ , и водные бассейны на раннем Марсе были покрыты льдом. Накопление  $\text{CO}_2$  идет до тех пор, пока температура поверхности не достигает точки таяния, а потом прекращается. Если это объяснение правильно, то океан, который, как предполагается, покрывал когда-то часть Северного полушария, был замерзшим. Так что слова о теплом и влажном климате раннего Марса надо понимать условно: он, вероятно, был более теплым и влажным, чем сейчас, но более холодным, чем на современной Земле.

## Космогонический аспект

Считается, что исследования Марса внесут крупный вклад в решение проблемы образования Солнечной системы<sup>11</sup>. Марс — планета земной группы. По массе он в 10 раз меньше Земли, но по оценке распределения в Солнечной системе нелетучей компоненты (силикатов, сплавов железа и никеля) должен быть больше Земли примерно в два раза. Малая масса Марса объясняется эффектом Юпитера.

Первым из планет образовался Юпитер. Благодаря мощному гравитационному полю ранний Юпитер разбросал оставшиеся прототела из своей зоны питания. Прототела, а также резонансные взаимодействия разрушили зону питания планеты, которая могла бы

сформироваться в поясе астероидов, и уменьшили количество прототел в зоне питания молодого Марса, приостановив его рост. Именно поэтому масса Марса оказалась на порядок меньше. Сильно кратерированное его Южное полушарие сложено очень древними породами. Не исключено, что, узнав возраст марсианской коры, мы сможем оценить время формирования Юпитера — важнейшего неизвестного параметра в современной космогонии.

Влияние Юпитера привело к перемешиванию прототел из различных зон питания растущих планет земной группы. В этом смысле образование Земли и Марса было многокомпонентным. На основе анализа картины распространенности элементов в мантии Земли и в SNC метеоритах была выдвинута идея о том, что планеты этой группы сформировались из планетезималей с разной степенью окисленности. Г.Дрейбус и Х.Вэнке<sup>12</sup> предложили (как первое приближение) модель аккумуляции планет земной группы, состав которых рассматривается в виде некоторой смеси компонент А и Б. Прототела, состоящие из сильно восстановленного вещества компоненты А, заполняли зону питания формирующейся Земли. В компоненте Б вещество сильно окислено и содержит все элементы (включая летучие) с отношениями, как у хондритов класса С1. Из компоненты Б состояли прототела зоны, где в настоящее время расположен пояс астероидов.

Дрейбус и Вэнке пришли к заключению, что компоненты А и Б в Марсе смешаны в отношении 60:40, а в Земле — 85:15, и аккумуляция Марса шла почти однородно, в противоположность химически неоднородной аккумуляции Земли. В наших работах также показано, что

именно в строении Марса должна ярче всего проявиться двухкомпонентность<sup>13</sup>.

## Модель внутреннего строения Марса

При моделировании внутреннего строения планет на первых шагах разрабатывается сферически симметричная модель, когда плотность  $\rho(r)$  и давление  $p(r)$  зависят только от радиуса. В дальнейшем необходимо построить региональные модели наружных слоев. Для Марса сейсмические данные отсутствуют, и, чтобы их получить, нужно создать обширную сейсмическую сеть на поверхности планеты. В наше время для понимания внутреннего строения Марса используется химическая модель (ВД), предложенная Вэнке и Дрейбус.

Был построен набор моделей<sup>14</sup>, удовлетворяющих данным о средней плотности  $\rho_0 = 3.94 \text{ г/см}^3$  и приведенном моменте инерции ( $I$ ), который удалось определить в результате космической миссии "Марс-Патфайндер"<sup>15</sup>,

$$I = (A+B+C)/3MR^2 = 0.3658 \pm 0.0017,$$

где  $A$  и  $B$  — главные экваториальные моменты инерции, а  $C$  — полярный;  $M = 6.43 \cdot 10^{26} \text{ г}$  — масса,  $R = 3390 \text{ км}$  — средний радиус планеты.

Глобальная модель получилась путем соединения моделей коры, силикатной мантии и ядра, предложенных разными исследователями<sup>16</sup>. Когда будут по-

<sup>11</sup> Zharkov V.N. // Geophys. Monograph 74, IUGG Am. Geophys. Union. 1993. V.14. P.7—17.

<sup>12</sup> Dreibus G., Wänke H. Origin and evolution of planetary and satellite atmospheres / Eds S.K.Atreja, J.B.Pollack, M.S.Matthews. Tucson, 1989. P.268—288.

<sup>13</sup> Жарков В.Н. // Астрон. вестн. 1996. Т.30. №6. С.514—524.

<sup>14</sup> Жарков В.Н., Гудкова Т.В. // Там же. 1998. Т.32. №5. С.403—412.

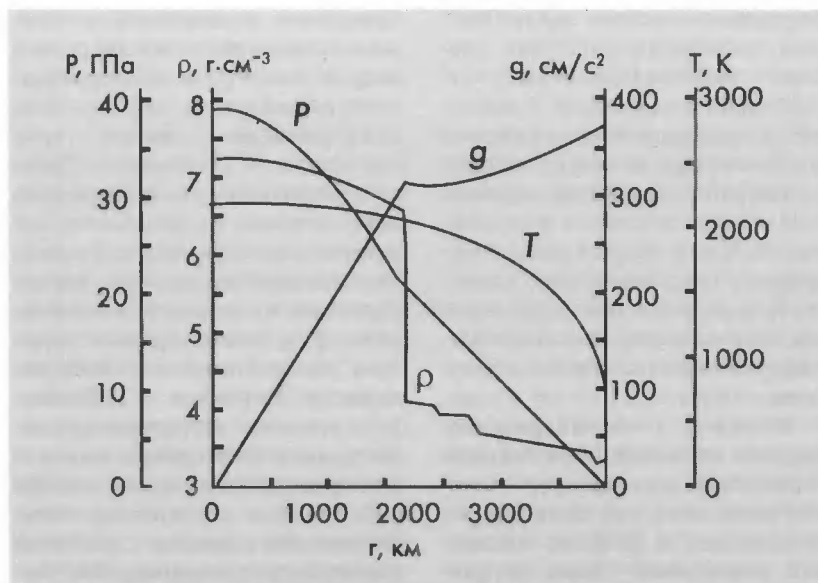
<sup>15</sup> Folkner W.M., Yoder C.F., Yuan D.N. et al. // Science. 1997. V.278. P.1749—1751.

<sup>16</sup> Бабейко А.Ю., Жарков В.Н. // Астрон. вестн. 1997. Т.31. №5. С.404—412; Berika C.M., Fei Y. A profile of Martian mineralogy and density up to core-mantle boundary // 29-th Lunar and Planet Sci. Conf. Houston, 1998. P.107—108.

лучены более детальные данные, каждая из этих моделей поможет решить ряд фундаментальных вопросов. Модель коры должна дать ответ на содержание в ней воды и карбонатов и, таким образом, приблизить нас к решению проблемы ранней плотной атмосферы, состоящей из  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , которые обеспечивали парниковый эффект и теплый, влажный климат на молодом Марсе. Модели мантии и ядра позволяют конкретизировать процесс образования планет земной группы. Кроме того, модель ядра сможет объяснить генерацию магнитного поля на раннем Марсе, причем ядро, судя по огромным значениям полюсовых магнитных аномалий, должно было находиться в состоянии развитой конвекции.

Основной дискуссионный вопрос — это насколько космохимическая модель (ВД), дающая массовое отношение  $\text{Fe/Si} = 1.71$ , может соответствовать современным представлениям о внутреннем строении планеты. Крупный шаг вперед будет сделан, когда с достаточной точностью удастся определить радиус ядра. Хотя практически никто не сомневается, что ядро Марса жидкое, это также требует проверки.

В Лаборатории реактивного движения НАСА построена модель гравитационного поля "Mars 50 c", в которой разложение гравитационного потенциала по сферическим функциям доведено до 50-й гармоники<sup>17</sup>. В этой модели пики гравитационных аномалий 2387, 1646, 1221 и 1547 мгал (1 гал = 1 см/с<sup>2</sup>) относятся к гигантским щитовым вулканам — Олимпу, Арсии, Павлине и горе Аскрийской соответственно. Наибольшие гравитационные аномалии на Земле порядка 100 мгал. Гигантские, по земным меркам, значения гравитационных аномалий Марса указывают на то, что последний имеет мощную лито-



Модель внутреннего строения Марса, удовлетворяющая всем имеющимся на сегодняшний день данным.

сферу, около 500 км, которая выдерживает нагрузки от таких структур. Наружный слой Марса достаточно холодный, что можно рассматривать как косвенное указание на существование "океана магмы" в его начальном развитии, во время которого произошло заметное обеднение мантии радиоактивными источниками тепла из-за их выноса в кору.

На сегодняшний день информационное обеспечение науки о Марсе основано на данных о поверхности планеты и ее атмосфере. Геофизические зондирования (сейсмические, электромагнитные) планетных недр добавляют третье измерение. Как кульминация исследований Марса при помощи автоматов, экспедиция с участием человека проведет эксперименты с активной и пассивной сейсмикой, бурение и измерение теплового потока, что позволит приступить к построению вещественных моделей наружных слоев планеты и реальной гидрогеологической модели криолитосферы.

## Многообразие марсианской проблематики

Марс — планета, наиболее похожая на Землю. Но кроме того, что он меньше по массе и размеру, много различий также в характеристиках коры, поверхности и атмосферы, в истории воды. Геологические процессы здесь исключительно разнообразны, и их изучение позволит обогатить геологические аспекты сравнительной планетологии.

На поверхности Марса выделяется плоскогорье Фарсида, приподнятое на 4 км и занимающее около 15% площади планеты. На нем расположены гигантские щитовые вулканы, один из которых — гора Олимп — крупнейший в Солнечной системе. Поверхность Марса характеризуется дихотомией: Южное полушарие, более древнее и испещренное кратерами, приподнято, а Северное, равнинное, несколько опущено. В промежутке расположена обширная переходная зона. От

<sup>17</sup> Konopliv A.S., Sjogren W.L. The JPL Mars gravity field. Mars 50 c. Based upon Viking and Mariner 9 Doppler tracking data // JPL publ. 1995. V.95. №5.



Фарсиды на восток протягивается гигантская рифтовая система — Долина Маринеров.

Большой прогресс в изучении марсианской поверхности достигнут при помощи лазерного альтиметра и фотографической камеры высокого разрешения на борту "Марс-Глобал-Сервейера". Оказалось, что слоистость верхней коры характерна для всей планеты. В долине Маринеров она прослежена до глубины ~10 км.

В отличие от Земли, развивающейся главным образом при господстве механизмов плитной тектоники, эволюция Марса происходит в режиме плюмовой тектоники. Один гигантский мантийный плюм создал Фарсиду, а другой, менее мощный, — Элизий. Считается, что тектоника плит на Земле связана с присутствием воды. На Марсе (в отличие от Венеры) также есть вода, но тем не менее развитие планеты пошло скорее всего по линии тектоники плюмов, а не плит. Несомненно, изучение Марса внесет важный вклад в понимание механизма возникновения тектоники плит на Земле.

Причиной более низкого уровня рельефа Северного полушария может быть то, что активность процессов плитной тектоники, локализованных в

Северном полушарии, снизилась из-за недостатка энергии в недрах планеты и последующего ее охлаждения. Эта гипотеза, предложенная Н.Слипом<sup>18</sup>, критиковалась М.Прайсом и К.Танак<sup>19</sup>, так что вопрос остался пока нерешенным. Неожиданное открытие сделано "Марс-Глобал-Сервейером" и касается характеристик магнитного поля планеты. Результаты предшествующих измерений (на наших аппаратах "Марс-3 и -5", "Фобос-2") трудно интерпретировались, хотя был сделан вывод о том, что планета имеет слабое собственное магнитное поле. Сложности связаны с работой наших искусственных спутников на эллиптических орбитах с высоким перицентром. "Марс-Глобал-Сервейер" был выведен на почти круговую и более близкую к поверхности орбиту. Проведенные магнитные измерения<sup>20</sup> подтвердили, что магнитное поле у Марса есть, но оно не дипольное и состоит из локальных очагов. Самые сильные из них с индукцией до

1500 гамм (1 гамм =  $10^{-5}$ гаусс) расположены в Южном полушарии. Это своего рода магнитные полосы, протягивающиеся с востока на запад, причем соседние полосы намагничены в противоположных направлениях. Найдено 5—6 таких пар. Подобную магнитную структуру обнаруживает океаническое дно Земли, что связано с переполюсовками земного магнитного поля и раздвижением океанического дна. На Земле, по мере удаления от срединно-океанических хребтов, возраст океанического дна увеличивается. Возраст магнитных полос на Марсе не определен. Механизм их образования также не ясен, хотя можно ожидать, что они свидетельствуют о каких-то важных процессах, происходивших на планете в первые 0.5 млрд лет, когда в жидком ядре генерировалось собственное магнитное поле.

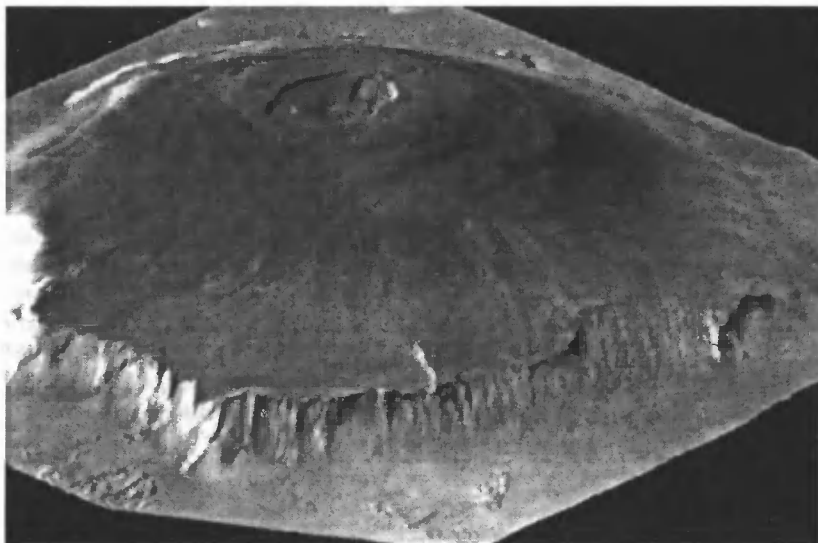
На Марсе имеется ряд других крупных геологических структур разных масштабов: гигантские кратерные бассейны, полярные шапки. Особый интерес с точки зрения более поздних эволюционных процессов представляют проявления флювиальных и карстовых процессов, перенос вещества ветром, полярные слоистые образования.

Атмосфера на 95% состоит

<sup>18</sup> Sleep N. H. // J. Geophys. Res., 1994. V. 99. №E3. P.5639—5655.

<sup>19</sup> Prais M. J., Tanaka K. L. The martian Northern plains did not result from plate tectonics // 26-th Lunar and Planet Sci. Conf. Houston, 1995. P.1147—1148.

<sup>20</sup> Connerney, J. E. P., Acuña M. H., Wasilewski P. et al. // Science. 1999. V.284. P.794—798.



Гора Олимп — самый большой вулкан среди известных на планетах Солнечной системы. Трехмерная реконструкция на основе анализа изображений, полученных космическими аппаратами "Викинг-1 и -2".

из диоксида углерода. Давление у поверхности близко к давлению тройной точки воды — 6.1 мбар. И это, возможно, не случайное совпадение. Открытые водоемы не могут существовать на Марсе, однако вода присутствует: следы водяного пара в атмосфере, вода, адсорбированная реголитом, кристаллизационная (в некоторых минералах горных пород), лед в полярных шапках и, возможно, при определенных условиях (в теплых областях в теплое время суток, при соляных добавках) жидкая — в грунтовых порах. Несмотря на то что вода на Марсе «спрятана», ее роль в современной жизни планеты весьма значительна. Она даже может служить регулятором, поддерживающим содержание диоксида углерода в атмосфере на постоянном уровне.

Ряд особенностей современной поверхности планеты указывает на то, что были эпохи, когда вода играла еще большую роль. Разветвленные долины, весьма напоминающие русла высохших рек (вади), — наиболее яркий пример. Гипотеза о более теплом древнем Марсе с открытыми водоемами — реками, озерами, может быть, морями — и с более плотной атмосферой (на что указывает изотопный состав последней) обсуждается уже более двух десятилетий. Однако многие вопросы еще ждут ответа. Каковы запасы воды? Как они распределяются между разными резервуарами (реголитом, вечной мерзлотой и др.), широтными зонами, геологическими провинциями? Как менялось это распределение со временем (история воды)? Действительно ли была, и если да, то как давно началась и закончилась эпоха теплого и влажного климата; была ли она однократным событием или повторялась?

В сущности речь идет о том, что на Марсе произошла некогда глобальная экологическая катастрофа. Учитывая те изменения в климате Земли, которые происходят на наших глазах вследствие вмешательства индустриаль-

ной цивилизации и явно несут Земле угрозу глобальной экологической катастрофы, чрезвычайно важно понять, как и почему это случилось с Марсом. Здесь невозможно ничего сделать при помощи какого-то однократного космического эксперимента. Только серия многочисленных экспедиций разного типа (посадочные аппараты — стационарные и подвижные, спутники, миссии с доставкой вещества и, наконец, крупномасштабные экспедиции с участием человека) позволит накопить сведения, необходимые для воссоздания климатической истории Марса. Это долгий и трудный путь, требующий объединения усилий специалистов из разных стран.

Понять историю марсианского климата невозможно, не зная его современное состояние. Значительная по массе доля атмосферы проходит через процессы конденсации (осенью) и испарения (весной) диоксида углерода в сезонных полярных шапках. Это сопровождается сильным меридиональным переносом. Некоторое (и возможно значительное) количество  $\text{CO}_2$  не участвует в сезонных процессах, видимо, потому что часть его не успевает испариться из северной полярной шапки, а другая — адсорбирована реголитом. При изменениях наклона плоскости экватора, распределение диоксида углерода между газовой и твердой фазой варьирует. Парниковый эффект значительно увеличится при соответствующем изменении соотношения фаз. Здесь прослеживается возможная аналогия со сменами периодов оледенений и потеплений на Земле.

## Поиски жизни на Марсе

Если у Марса в далеком прошлом были более плотная атмосфера, теплый климат и жидкая вода на поверхности, там могла существовать жизнь. В 1996 г. опубликовано сенсационное

сообщение<sup>21</sup> о находке в одном из SNC метеоритов — ALH84001 — возможных свидетельств биологической активности в далеком прошлом. Это известие вызвало громадный интерес не только ученых, но и широкой общественности. В течение последних трех лет велись большие работы по изучению SNC метеоритов, различных аспектов марсианской палеобиосферы, а также возможности жизни в экстремальных условиях на Земле. Тем не менее вопрос остается нерешенным. Возможно, более убедительные свидетельства будут получены позднее (в 2008 г.?), когда планируется доставка образца марсианского грунта на Землю. Скорее же всего решение проблемы будет отложено до полета человека на Марс, когда можно будет сознательно провести отбор вещества из осадочных слоев с детальным описанием места отбора.

Гипотеза о жизни на Марсе пережила долгую и драматическую историю, в которой можно выделить несколько этапов:

- открытие «каналов» и сезонных изменений (конец XIX — начало XX в.);

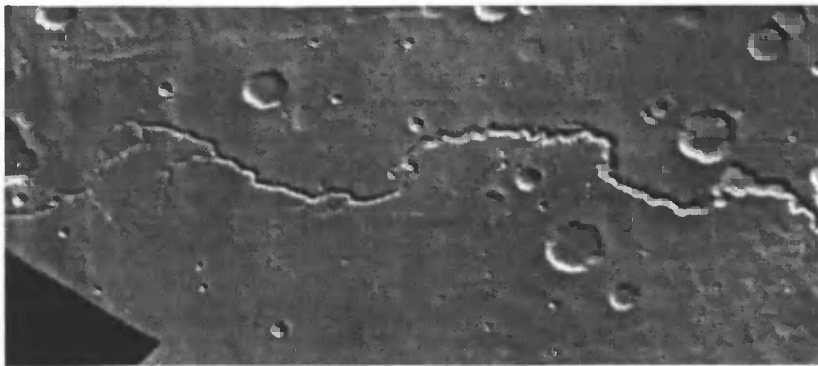
- попытки идентификации полос поглощения органических веществ в спектре Марса (50–60-е годы);

- проведение на посадочных аппаратах «Викинг-1 и -2» экспериментов по обнаружению следов жизнедеятельности микроорганизмов, а также сложных органических молекул (1976);

- упомянутые выше исследования метеорита ALH84001.

Каналы оказались оптическим обманом. Сезонные изменения объясняют сейчас перемещением пыли. Полосы поглощения, как выяснилось, не имели отношения к Марсу. Наконец, результаты биологических экспериментов на «Викингах» были

<sup>21</sup> McKay D.S., Gibson E.K., Thomas-Kerr K.L. et al. // Ibid. 1996. V.273. P.924–930.



*Система Ниргал — пример русла высохшей марсианской реки с разветвленной сетью притоков.*

отрицательными (хотя иногда они трактуются и как неопределенные). О ситуации вокруг ALH84001 мы уже упомянули. Тем не менее поиски должны быть продолжены. Обнаружение марсианской биосферы, современной или вымершей, будет одним из величайших открытий в истории науки.

## Фобос и Деймос

Спутники Марса, Фобос и Деймос, открыты американским астрономом Холлом в 1877 г. Это объекты 12-й звездной величины, и наблюдение их в телескоп затрудняется соседством яркого Марса. Плоскости орбит почти совпадают с плоскостью экватора планеты. Вращение — синхронное (к планете всегда обращена одна и та же сторона). Фото- и телевизионные камеры космических аппаратов “Маринер-9”, “Викинг-1 и -2”, “Фобос-2” позволили определить их форму, размеры, строение поверхности. Это были первые малые тела, ставшие доступными для детального исследования. Их происхождение до сих пор не понятно: захваченные ли они астероиды или образовались вместе с Марсом.

Фобос исследован более детально. В 1988 г. к нему отправились космические аппараты “Фобос-1 и -2”. “Фобос-2” сблизился с этим космическим телом и даже стал его искусственным спутником, однако последняя фаза миссии (тесное сближение и посадка малых стан-

ций) не удалась. По этой причине не знающие существа дела оценивают всю миссию как неудачную. Это не так. Было получено много новых научных данных как о самом Фобосе, так и о Марсе. Определены масса и плотность Фобоса, уточнены карты поверхности, измерены тепловая инерция и спектр отражения поверхностного слоя. Фобос имеет очень малое альbedo, и ранее предполагалось, что он состоит из углистых хондритов, однако спектры отражения, измеренные “Фобосом-2”, заставляют отказаться от этой гипотезы<sup>22</sup>. Загадочная особенность — борозды на поверхности этого спутника Марса. Возможно, они связаны с глубинными трещинами ударного происхождения. Инфракрасные измерения показали, что на поверхности Фобоса находится раздробленный материал (реголит), похожий на лунный, но, по-видимому, с частицами несколько большего размера. Подозревается существование тороидального пылевого облака (кольца?) на его орбите.

Не исключено, что вещество Фобоса, как и других малых тел Солнечной системы, первично, т.е. сохранилось со времени формирования последней. Поэтому детальные исследования его состава, особенно изотопного, представляются задачей высокого приоритета. Много можно сделать в прямых измерениях во время посадки, одна-

ко самое надежное — доставка вещества на Землю и изучение его в лабораториях. Для решения этой задачи в России приступили к созданию космического аппарата “Фобос-Грунт”. Не будем говорить о сроках реализации, учитывая, что общее положение с финансированием фундаментальных научных исследований (включая космические) в нашей стране пока остается катастрофическим.

## Счет 2:4 не в нашу пользу!

Далеко не все в исследованиях Марса получается так, как хотелось бы. За последние 10 лет к Марсу стартовали семь космических аппаратов. Один из них — японский — еще находится в полете. Что же касается остальных шести, то только два сработали успешно — “Марс-Патфайндер” и “Марс-Глобал-Сервейер”. Погибли российский “Марс-96” и американские “Марс-Обсервер” (1992), “Марс-Клаймит-Орбитер” и “Марс-Поллар-Лэндер” (1999). Высокий процент неудач наводит на еретическую мысль: а вдруг на Марсе все-таки существует разумная цивилизация и марсиане решили оказывать организованное сопротивление? Но дело, конечно, не в этом. Во всяком случае причины двух последних неудач имеют вполне земной корень — это внутренне противоречивое стремление делать все “лучше, дешевле, быстрее”. Именно так НАСА сформулиро-

<sup>22</sup> Ksanfomality L.V., Moroz V.I. // Icarus. 1995. V.117. P.383–401.

вало в 1992 г. свой подход к организации научных космических проектов. Была создана весьма амбициозная программа исследований Марса, предусматривающая запуск двух космических аппаратов (спутник и посадочный аппарат) в каждое астрономическое окно, т.е. с интервалом примерно два года. Кульминацией должна стать очень сложная миссия с доставкой на Землю образца марсианского вещества (старт в 2005 г., прибытие капсулы с образцом в 2008 г.). На эту программу отведены ресурсы по нашим масштабам громадные, но по американским — в обрез. Стали экономить на вещах, на которых экономить опасно. В результате получилось то, что получилось.

Один из способов экономить ресурсы — международное сотрудничество. Несколько лет велись переговоры о российско-американских полетах “Вместе к Марсу”. Например, рассматривался вариант, в котором наша ракета выводит к Марсу российский посадочный аппарат и американский спутник. Переговоры захлебнулись из-за невозможности с нашей стороны дать в нынешних условиях какие-либо гарантии по срокам. В конце концов все свелось к участию российских ученых в американских миссиях на уровне отдельных экспериментов, как на аппаратах “Марс-Клаймит-Орбита” и “Марс-Полар-Лэндер”.

Очень серьезное партнерство в будущих исследованиях Марса завязалось между НАСА и КНЕС (французское космическое агентство). Для проекта по доставке вещества КНЕС предоставит ракету “Ариан-5” и выведет на околомарсианскую орбиту спутник для перехвата контейнера с образцом. Вероятно, эта программа будет сдвинута по срокам, но вряд ли отменена.

Европейское космическое агентство развернуло работы над независимым проектом “Марс-Экспресс” — искусствен-

ный спутник и посадочный аппарат (старт в 2003 г.). На спутнике будет установлено несколько крупных приборов, взятых из запасного комплекта “Марса-96”. Ответственные за эти эксперименты — ученые Франции, Германии, Италии, Швеции. Но в подготовке работ участвуют также и российские специалисты.

Таким образом, вокруг исследований Марса сложилась широкая международная кооперация. Задумка дальнего прицела — пилотируемая экспедиция на Марс (2020). Россия уже внесла большой вклад в решение этой грандиозной задачи результатами уникальных медико-биологических исследований на станции “Мир”.

## Требуется запасная планета

Зачем нужно посылать на Марс пилотируемую экспедицию, высаживать на его поверхность космонавтов? Будут ли оправданы риск, огромные затраты ресурсов? Есть ли такие научные задачи, ради которых стоит это делать? Американские пилотируемые полеты на Луну (миссия “Аполлон”) прошли успешно. Однако всем ясно, что эти программы выполнялись не для науки, а для достижения мощного политического эффекта: доказать всему миру (и самим себе) американское превосходство в освоении космоса. Напомним, что запуск в СССР первого искусственного спутника Земли и полет Ю.А.Гагарина были шоком для всей той части мира, от которой мы были отгорожены железным занавесом. Хочется верить, что не будет больше ни железного занавеса, ни холодной войны и такие грандиозные затеи, как пилотируемая экспедиция на Марс, будут выполняться с участием специалистов многих стран, включая и Америку, и Россию. Но тогда что же остается — только решение научных задач?

Мы думаем, что в области исследования Солнечной системы не существует такой научной задачи, которая оправдала бы затраты в сотни миллиардов долларов. Но есть задача футурологическая. Космические катастрофы не раз обрушивались на планеты. Около 70 млн лет назад на Земле исчезли динозавры — все и одновременно. Причиной могла быть космическая катастрофа: столкновение нашей планеты с астероидом или кометой. Можно предположить, что подобное событие, если оно произойдет в будущем, приведет к гибели человечества. Чтобы от этого застраховаться, надо иметь в Солнечной системе обитаемые базы с автономным жизнеобеспечением. Лучше всего иметь запасную планету. И наиболее перспективная — Марс. Если в прошлом там были более плотная атмосфера и теплый климат, то, может быть, в очень отдаленном будущем удастся вернуть Марс в это состояние? Мы видим, что всего за 100 лет антропогенные процессы на Земле оказались достаточными для некоторых изменений состава атмосферы и климата (усиление парникового эффекта). Что же касается других планет, то уже есть в научной литературе термин “terraforming” — искусственное преобразование планетных атмосфер в сторону приближения по свойствам к земной. Есть надежда, что в очень далеком будущем человечество превратит Марс в еще одну обитаемую планету, которая может пригодиться и в случае космической катастрофы. На наш взгляд — это важнейшая мотивация пилотируемых экспедиций на Марс, которые несомненно начнут осуществляться в XXI в.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант 99-02-16013. ■**



# Конструирование лекарств для лечения болезни Паркинсона

А.П.Каплун, И.В.Жигальцев, В.И.Швец

**А**тланта-96. Олимпийский факел в руках Мохаммеда Али. Кто смотрел репортаж, заметил, что выдающийся боксер страдает болезнью Паркинсона. Телезрители могли наблюдать все основные симптомы этого заболевания: ригидность, тремор, гипокинезия. В переводе на русский это означает: излишний тонус в мышцах, дрожание отдельных частей тела и малая подвижность, которая впоследствии может привести к акинезии — полной неподвижности.

Паркинсонизм — довольно распространенное (100 больных на 100 тыс. населения) хроническое заболевание среди людей пожилого возраста. В 60-х годах было обнаружено, что при болезни Паркинсона в стриатуме (одном из подкорковых отделов мозга, участвующем в координации двигательной активности и формировании эмоциональной реакции) понижено содержание нейромедиатора дофамина. Возникает это заболевание вследствие нарушений функций черного тела (структуры среднего мозга), причиной которых могут стать и вирусная инфекция,



**Виталий Иванович Швец**, доктор химических наук, член-корреспондент РАМН, проректор и заведующий кафедрой биотехнологии Московской государственной академии тонкой химической технологии им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — химия и биохимия липидов, конструирование лекарственных и диагностических препаратов.

**Александр Петрович Каплун**, доктор химических наук, профессор той же кафедры. Занимается конструированием лекарственных и диагностических препаратов, интересуется проблемами генетической и иммунологической инженерии.

**Игорь Валерьянович Жигальцев**, кандидат химических наук, стажер той же кафедры. Изучает липосомные формы лекарственных веществ.

и опухоль, и механические повреждения нейронов черного тела, и поражения их токсическими веществами. В последнее время среди больных паркинсонизмом все больше молодых людей. Очевидно, это связано с распространением наркотика (крэка), в котором присутствует токсичная для нейронов черного тела примесь. Кроме того, в окружающей нас среде наверняка есть и другие подобные, но пока еще не идентифицированные, токсины.

## Барьеры, барьеры, кругом одни барьеры

Итак, в нейронах черного тела вырабатывается дофамин, который затем выделяется в синаптическую щель (пространство между мембранами контактирующих нервных клеток, где происходит передача импульсов), и этот сигнал принимается нейронами стриатума. Следовательно, можно предположить, что, компенсировав недостаток дофамина в этом отделе мозга, можно снять симптомы заболевания. Такой метод лечения называют заместительной терапией, а самым эффективным способом доставки дофамина могла бы быть инъекция его раствора непосредственно в стриатум, но это — очень рискованно и небезопасно для пациента.

Попробовали вводить дофамин внутрь. Никакого эффекта! В чем же дело? Оказалось, что при таком введении дофамин появляется в кровотоке и тканях практически во всех органах, но только не в мозге. Почему?

В желудочно-кишечном тракте всасываются только те вещества, которые способны преодолеть мембрану эпителиальных клеток (энтероцитов) с помощью специфических переносчиков. Также мо-

гут проходить гидрофобные вещества, так как они растворимы в липидной мембране клеток. Затем “счастливчики” оказываются в капиллярах, и на их пути возникает новый барьер — печень, где находятся ферменты, разрушающие чужеродные для организма соединения (ксенобиотики). В крови тоже присутствуют ферменты, которые могут разрушать лекарство. Уже на этом этапе, в кровотоке оказывается порой менее 50% препарата, а ведь впереди еще одно очень серьезное препятствие — гематоэнцефалический барьер (ГЭБ) — барьер между кровью и мозгом, по-английски это выглядит почти мистически: blood-brain barrier (bbb). Но этот барьер имеет вполне физическую природу. Капилляры мозга в отличие от всех других капилляров не имеют никаких пор. Клетки эпителия в них плотно прилегают друг к другу, и между ними ничто не просочится. Вообще-то капилляры существуют для того, чтобы снабжать органы и ткани питательными веществами, для этого-то им всем и нужны поры. Всем, кроме капилляров мозга. Мозг как центральный орган охраняется особенно тщательно от проникновения большинства соединений. У тех же питательных веществ, которые должны попасть в мозг (аминокислоты, пурины, глюкоза и т.п.), есть специальные переносчики через мембраны эпителиальных клеток капилляров. Все прочие, которые не могут быть узанными белками-переносчиками (как, например, дофамин), в мозг проникнуть не могут.

Но многие на собственном опыте знают, что есть вещества, которые не относятся к питательным, но после приема внутрь довольно быстро оказываются в мозге. Все, кто выпил хотя бы рюмку вина, почувствовал действие спирта

на мозг. Есть и другие соединения, которые попадают в мозг, не имея специальных переносчиков: наркотики, успокаивающие препараты, релаксанты, транквилизаторы. Как им это удастся? Проходят не в дверь, где проверяют по списку, а сквозь неохранный забор. Дело в том, что все перечисленные вещества — амфифильные, в их структуре представлены как полярные, так и гидрофобные группы. Поэтому они прилично растворимы не только в воде, но и в гидрофобной мембране клеток. Дофамин — слишком полярное соединение (отлично растворяется в воде, но очень плохо в липидной мембране), поэтому “сквозь стену” эпителия капилляров мозга ему не пройти.

## Лекарство в маскхалате

К счастью, у дофамина есть биосинтетический предшественник — дигидроксифенилаланин (ДОФА), который может проникнуть сквозь ГЭБ с помощью переносчика тирозина — аминокислоты, отличающейся от ДОФА лишь одной гидроксильной группой. Попад в мозг, ДОФА подвергается декарбоксилированию и превращается в дофамин. Такой прием, когда для улучшения биодоступности или других фармакокинетических параметров лекарственного вещества на него “надевают” маскирующие фрагменты, известен довольно давно, а предшественник, превращающийся в организме в активное соединение, называется пролекарством.

В наши дни ДОФА — основной, но далеко не идеальный препарат для лечения болезни Паркинсона. Он проникает в мозг, но в другие органы проходит не хуже, поэтому, чтобы создать нужную концентрацию в капиллярах моз-

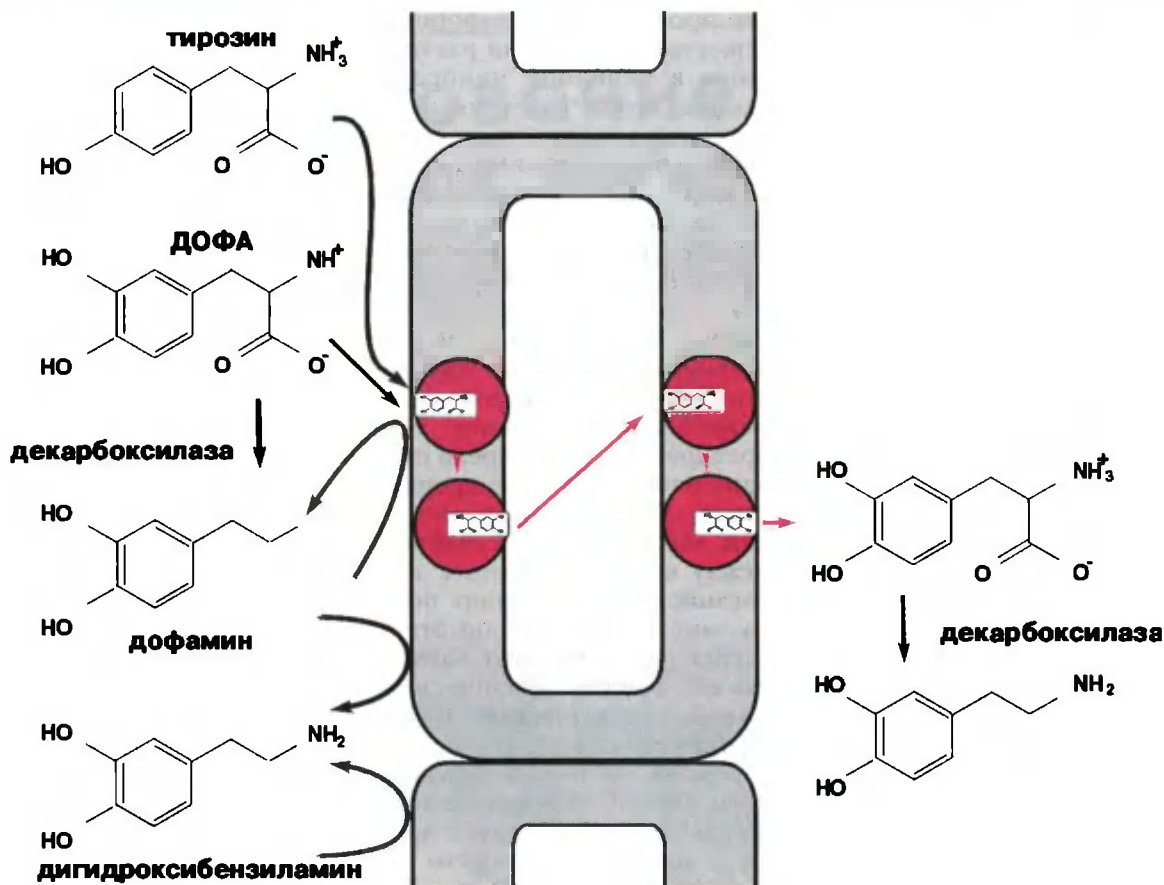


Схема прохождения ДОФА (биосинтетического предшественника дофамина) через плотный слой эпителиальных клеток капилляров головного мозга и его превращения в активный дофамин (выделено цветными стрелками). ДОФА использует переносчика тирозина (выделено цветом), а дофамин и дигидроксибензиламин этот переносчик не узнает, потому им сквозь мембрану не пройти.

га, требуются лошадиные дозы. Вот выписки из знаменитого справочника М.Д. Машковского: «Начальная доза 0.25 г в день, которую при необходимости увеличивают до 4—5 г, а при хорошей переносимости суточная доза достигает 6 г. При развитии побочных явлений уменьшают дозу или прекращают прием препарата». А побочные явления — это «диспепсия, ортостатическая гипотония, аритмии, гиперкинезы, головная боль, гипергидроз и др.»

Большинство перечисленных явлений связано с преждевременным декарбоксили-

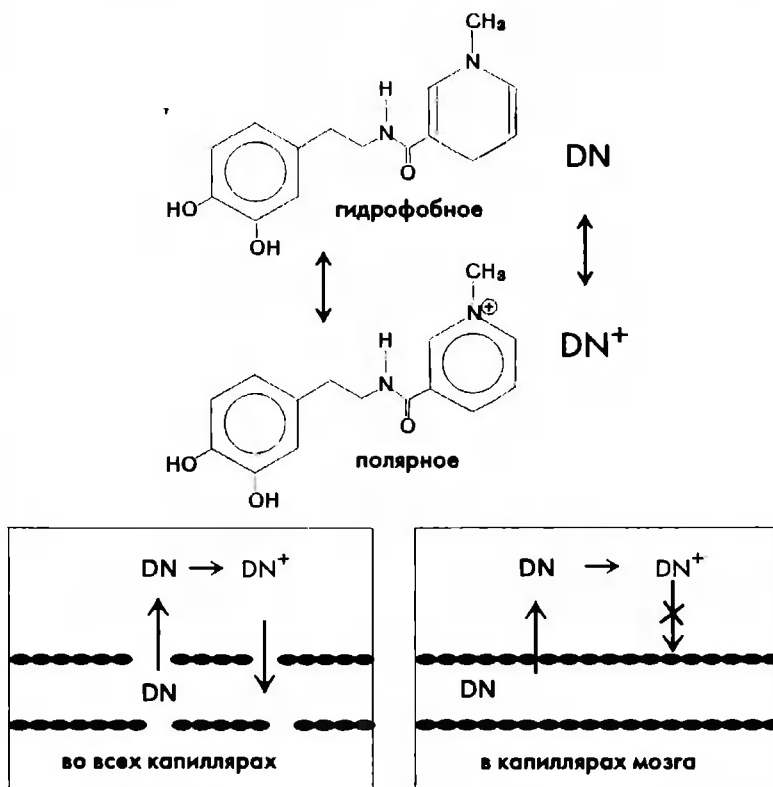
рованием ДОФА в дофамин в периферических тканях, куда он может забредать по пути в мозг, что, естественно, приводит и к снижению (до 80%) концентрации ДОФА в крови. В некоторых органах (в сердце, в почках) есть дофаминовые рецепторы, и поэтому образующийся в результате биотрансформации дофамин вызывает побочные эффекты в этих органах. Для ослабления периферического декарбоксилирования применяют смесь ДОФА с ингибиторами ферментов, разрушающих ДОФА, но и это дает незначительный эффект.

**“Кто нам мешал, тот нам и поможет!”**

Есть очень элегантный способ увеличить селективность лекарства по отношению к мозгу. Этот способ напоминает ситуацию в фильме “Кавказская пленница”. Там, если вы помните, прозвучала фраза: “Кто нам мешал, тот нам и поможет!” Дело в том, что ГЭБ не проницаем для полярных веществ в обоих направлениях. Если создать гидрофобное пролекарство, которое, проникая в ткани, становилось бы полярным, его

селективность в этом случае повысилась за счет того, что оно не смогло бы уже выйти из мозга, тогда как в других тканях, где есть поры, такое превращение не мешает обратному выходу. Таким образом, активное вещество накапливалось бы в мозге.

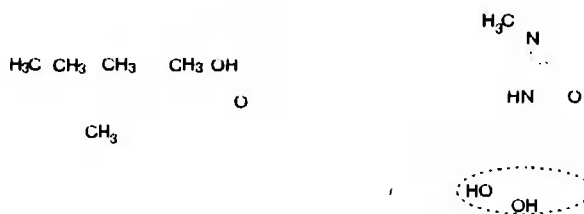
Разработал этот методический прием очень плодотворный идеями американский химик Н.Бодор, предложивший соединить молекулы лекарства с производными никотиновой кислоты, которые легко окисляются под действием ферментов<sup>1</sup>. Про-пролекарство (DN) получают в восстановленном виде и вводят в организм; в тканях оно окисляется до заряженного и поэтому нерастворимого в мембране пролекарства (DN<sup>+</sup>), затем в мозге амидная связь гидролизуется, и образуется дофамин (D).



## Гидрофобность для лекарств, не любящих воду

Гидрофобные соединения, естественно, плохо растворимы в воде (общее правило: чем лучше вещество растворяется в мембране клеток, тем хуже — в воде). С этим связаны трудности, которые возникают при создании в кровотоке нужных концентраций гидрофобных лекарств. Для повышения биодоступности надо подобрать подходящий переносчик. Как природа решила эту проблему? Ведь существуют гидрофобные, не растворимые в воде витамины (А, Д, Е), гормоны (тироксин, половые гормоны), липиды (холестерин, жиры), которые нужно переносить от места синтеза ко всем клеткам. Для каждого из таких веществ существуют белки-переносчики, а для хо-

Селективность распределения способных к окислению производных никотиновой кислоты. Гидрофобное про-пролекарство — конъюгат дофамина и N-метилникотиновой кислоты (DN) — легко проходит через стенки капилляров, попадает в ткани, там окисляется, образуя заряженное пролекарство (DN<sup>+</sup>), и становится нерастворимым в мембране клеток. Обратно он может выйти, только если в капиллярах есть поры, в капиллярах же мозга их нет, поэтому окисленный конъюгат там задерживается.



Переносчики гидрофобных веществ: белок-переносчик жирорастворимых витаминов (эллипс слева) и искусственный переносчик — циклодекстрин. Белок хорошо растворим в воде, так как его поверхность состоит из полярных аминокислот. В его "карман", выстланный гидрофобными аминокислотами, помещаются переносимые вещества (изображен витамин А). Циклодекстрин — водорастворимый олигосахарид, в его канал могут входить гидрофобные вещества подходящего размера (показан DN).

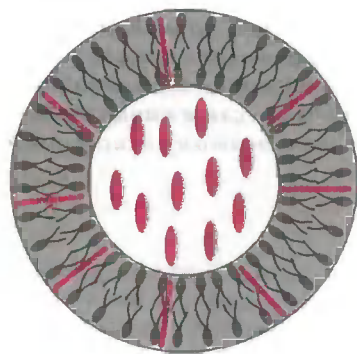
<sup>1</sup> Bodor N. Pharmaceutical formulations for parenteral use containing cyclodextrins and dihydropyridine redox systems (Eur. Pat. №335 545. 1989)



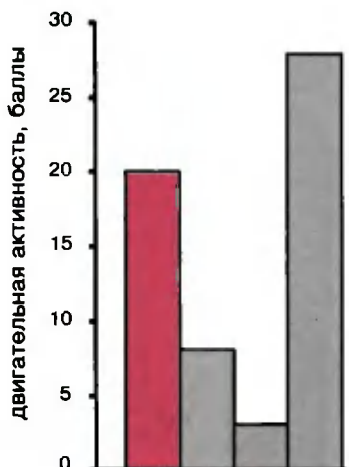
лестерина — контейнеры: липопротеины, состоящие из многих тысяч молекул. Они хорошо растворимы в воде, так как на их поверхности экспонированы полярные аминокислоты, и имеют “карманы”, выстланные гидрофобными аминокислотами. Химики для этих целей предложили циклодекстрины, у которых поверхность гидрофильная, а полость гидрофобная. Именно в эту полость могут включаться гидрофобные соединения соответствующего размера.

## Батискаф для любых лекарств

Липосомы (фосфолипидные пузырьки) давно исследуются как перспективная лекарственная форма, существенным образом меняющая распределение лекарственного вещества и защищающая его от воздействия фермен-



*Схема липосомы — переносчика лекарственных веществ, мембрана которой выстлана природными фосфолипидами. Во внутреннем водном объеме располагаются водорастворимые вещества (например, ДОФА или дофамин), в липидной мембране липосомы может переносить гидрофобные вещества.*



*Сравнение двигательной активности мышей различных групп. Действие липосомного препарата ДОФА на мышей с синдромом Паркинсона (выделено цветом) вызвало более выраженный антипаркинсонический эффект по сравнению с раствором этого препарата (второй столбик слева). Контролем служили больные и здоровые животные, которым вводили только физраствор (третий и четвертый столбики соответственно).*

тов;годились они и нам. Эти микросферы (размером от 25 нм до 1 мкм) служат контейнерами для лекарственных веществ, причем полярные соединения располагаются во внутреннем водном объеме липосом, а гидрофобные — хорошо растворяются в мембране. Мы занялись разработкой липосомной формы ДОФА, надеясь, что они будут обладать определенными преимуществами перед раствором. Во-первых, мембрана липосом предохранит ДОФА от преждевременного декарбоксилирования и не допустит падения концентрации активного вещества в крови. Таким образом, отпадет необходимость в использовании лошадиных доз препарата. Во-вторых, так как поры капилляров меньше диаметра липосом, они не смогут покинуть кровоток, а, следовательно, ДОФА не попадет в периферические ткани и не вызовет побочных явлений.

Предстояло проверить наши предположения в эксперименте. Липосомы получают в растворе активного вещества, при этом внутрь липосом попадает только 8—10% ДОФА, все остальное удаляется с помощью диализа или гельфиль-

трации (вид хроматографии, позволяющий разделять вещества по размеру). Липосомы вводили мышам с синдромом Паркинсона, который развивался у них под действием 1-метил-4-фенил-1,2,3,6-тетрагидропиридина (МРТР) — еще одного гидрофобного аналога дофамина. МРТР хорошо проникает в мозг, где окисляется до четвертичной соли, но не может выйти оттуда (как упомянутый окисленный конъюгат дофамина и никотиновой кислоты) и повреждает клетки, вырабатывающие дофамин.

О формировании синдрома Паркинсона судили по снижению двигательной активности у испытуемых. После введения липосомного препарата ДОФА наблюдали за их состоянием и сравнивали с поведением контрольных мышей. Полный эксперимент занимал почти месяц.

В результате выяснилось, что липосомный препарат в дозе, в 10 раз меньшей, чем раствор ДОФА, давал более выраженный антипаркинсонический эффект. Таким образом, наши надежды полностью оправдались. Кроме того, действие липосомного препарата длится почти в три раза

дольше, чем раствора ДОФА. Но самое удивительное обнаружилось, когда испытали липосомы, нагруженные дофамином: они оказывали почти то же действие, тогда как раствор дофамина (который, как уже отмечалось, практически не проникает через ГЭБ) никакого эффекта не давал! Объяснить этот факт можно тем, что липосомы непосредственно способны "протаскиванию" своего содержимого через ГЭБ, но прямо подтвердить лучшее проникновение биогенных аминов, загруженных в липосомы, оказалось затруднительным. В наших экспериментах мы определяли в мозге концентрацию вводимых веществ и их метаболитов, но понять, какая часть дофамина образуется из введенного препарата, а какая синтезировалась мозгом, без использования меченых соединений было невозможно.

## Не имея гербовой, пишем на простой

Так как эксперименты с мечеными соединениями очень дорогостоящи (и не безвредны), мы провели опыт с липосомной формой неприродного аналога дофамина — дигидроксibenзиламина. В мозге это соединение не синтезируется и сквозь ГЭБ самостоятельно проходит плохо, поэтому преодолеть ГЭБ и оказаться в мозге в больших количествах он может только благодаря липосомам. С помощью этого эксперимента удалось подсчитать, что концентрация дигидроксibenзиламина в стриатуме мышей при использовании липосом в 100 раз больше, чем в случае введения раствора.

Зная массу мыши и объем ее крови, легко прикинуть максимальное отличие концентраций активного вещества (дигидроксibenзиламина

или ДОФА, или дофамина) в крови при введении двух различных лекарственных форм: липосомного препарата и раствора. Даже если допустить, что лекарство из раствора равномерно распределилось по всем тканям организма животного, а заключенное в липосомы вещество не покидает кровотока и совсем не разрушается (ни того, ни другого на самом деле в полной степени не бывает), то и в этом случае концентрация липосомного препарата не может превысить концентрацию лекарства, введенного в виде раствора, более чем в 50 раз.

Объяснить столь большую разницу (в 100 раз в стриатуме и в 50 — в крови) пока трудно, но у нас есть некоторые предположения, которые еще предстоит проверить. Ситуация вполне обычная — долгое время был неизвестен механизм действия аспирина, что не мешало его успешно использовать.

## Активно накачиваем липосомы лекарством

Помимо очевидных преимуществ использования липосом существует и большой недостаток. Напомним, что при стандартном способе загрузки липосом активного вещества в них из раствора поступает немного. Поэтому для достижения необходимого эффекта приходится вводить большое количество липосом, вместе с которыми в организм попадает не только лекарство, но и фосфолипиды липосом. Хотя фосфолипиды — обычные вещества в человеческом организме (из них состоят мембраны всех клеток), тем не менее слишком большие их количества могут нарушить работу печени.

Для увеличения удельной

загрузки мы использовали прием, называемый активной загрузкой. Он основан на значительной разнице в проницаемости липидной мембраны для нейтральных и заряженных (протонированных) форм молекул дофамина. В растворе дофамина преобладают заряженные формы, но всегда присутствует и некоторое количество нейтральных. Незаряженные молекулы более гидрофобны и, как мы уже неоднократно упоминали, лучше растворимы в липидной мембране клеток и липосом. Если в суспензии "пустых", ничем не загруженных липосом растворить дофамин, то диффузия нейтральной части популяции его молекул через мембрану приводит к постепенному переходу дофамина внутрь липосом. Накопление дофамина будет продолжаться до тех пор, пока не наступит динамическое равновесие и концентрации вещества внутри и вне липосом не сравняются. А что, если попробовать найти способ помешать обратному выходу дофамина из липосом? Тогда удастся превысить теоретический предел загрузки липосом активным веществом, и в этом случае она станет "активной".

Способ был найден при подкислении внутреннего объема липосом. Проникшие в него нейтральные молекулы присоединяют протон, приобретают положительный заряд и уже не могут выйти обратно (вспомните идеи Бодора). Чем ниже pH внутри липосом, тем больше вещества перераспределяется из внешнего объема во внутренний. Не затрачивая никаких усилий, мы теперь можем "накачать" внутрь липосом весь растворенный дофамин — хватило бы силы кислого буфера. Казалось бы, проблема решена, но... через несколько часов pH внутри и вне липосом выравнивается, так как маленькие протоны довольно хорошо проходят

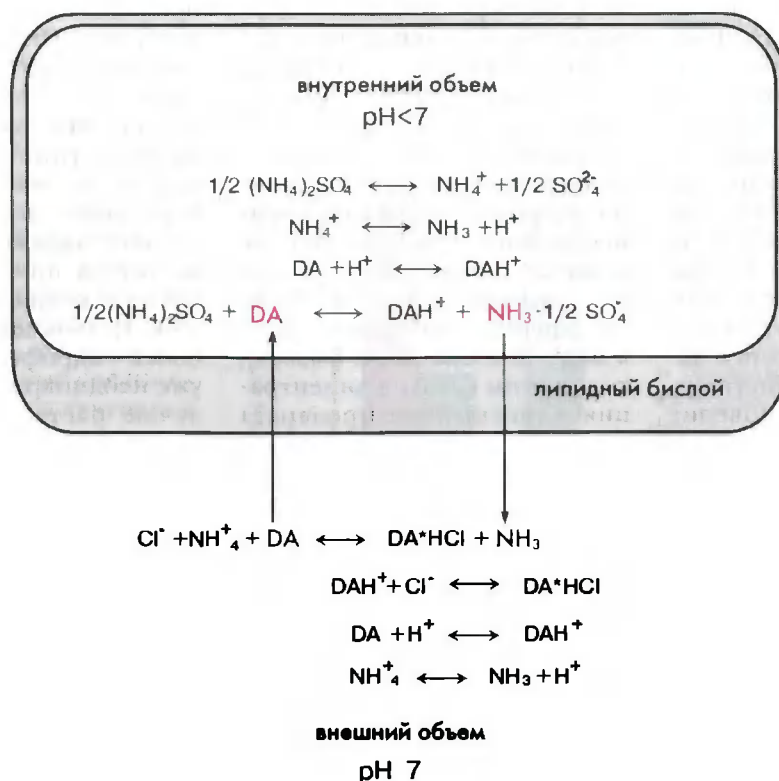


Схема активной загрузки липосомы дофамином в присутствии сульфата аммония  $(NH_4)_2SO_4$ . DA — дофамин в нейтральной форме,  $DAH^+$  — в заряженной (протонированной) форме.

через мембрану, и, следовательно, концентрации дофамина внутри и вне липосом выравниваются.

Стало быть, задача состоит в том, чтобы источник ионов водорода действовал внутри липосом как можно дольше. Исследовательская группа И. Баренхольца из Израиля предложила заполнять липосомы не кислым буфером, а раствором неорганической соли — сульфатом аммония  $(NH_4)_2SO_4$ . При гидролизе этой соли образуется аммиак, который, будучи молекулой незаряженной, легко проникает через мембрану и уходит во внешний раствор (в начальный момент концентрации и  $(NH_4)_2SO_4$  и  $NH_3$  вне липосом пренебрежимо малы).

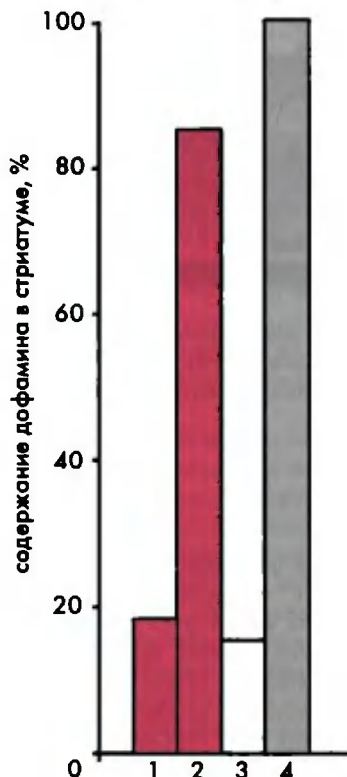
При этом каждая молекула  $NH_3$ , покидающая липосому, оставляет ей “на память” протон, который и служит приманкой для незаряженных гостевых молекул. Созданный таким образом трансмембранный градиент концентраций протонов невелик, но сохраняется в течение многих недель. Используя этот прием, израильским исследователям удалось перераспределить в липосомы более 90% от вносимого в дисперсию липосом целевого вещества — доксорубицина<sup>2</sup>. Полученный липосомный препарат проявлял исключительную стабиль-

ность и выдержал клинические испытания.

Успех израильских ученых вдохновил нас, и мы попытались использовать их метод для решения нашей проблемы — загрузки липосом дофамином. Были и сомнения: ведь дофамин, в отличие от доксорубицина, вещество весьма и весьма гидрофильное, и удержать его внутри липосом будет гораздо сложнее. Действительно, наши первые попытки нельзя было назвать удачными, однако в конце концов мы повторили израильский рекорд на нашем материале: 89% дофамина в течение получаса переходило в липосомы из внешнего раствора, и оставалось там несколько недель.

<sup>2</sup>Haran G., Cohen R., Bar L.K., Barenholz Y. // Biochim. Biophys. Acta. 1993. V.1151. P.201–215.





*Сравнение содержания дофамина в стриатуме после введения липосом, полученных традиционным способом (слева) и активно загруженных.*

*1 — здоровые животные, которым вводили только физраствор;*

*2 — больные нелеченные животные;*

*3 — леченные животные с синдромом Паркинсона.*

практически полностью восстанавливали двигательную активность у мышей с синдромом Паркинсона. И это не удивительно, биохимические тесты продемонстрировали, что уровень дофамина в стриатуме таких мышей почти сравнялся с нормой.

\* \* \*

В заключение нельзя не упомянуть еще об одном очень перспективном направлении в развитии лекарственных форм. Вместо того чтобы периодически вводить лекарство извне, можно один раз под оболочку мозга транс-

плантировать клетки, синтезирующие дофамин. А для предотвращения отторжения чужеродных клеток иммунной системой их заключают в микросферы, полупроницаемая мембрана которых состоит из биосовместимого полимера. Мембрана пропускает питательные вещества к трансплантату, а дофамин — обратно, но для клеток иммунной системы она — абсолютный барьер.

Эта процедура выглядит несколько экстравагантно, однако десятки лабораторий идут именно по этому пути. Особенно успешно продвигаются исследования в создании микрокапсул с продуцирующими инсулин  $\beta$ -клетками, предназначенных для лечения сахарного диабета. Хочется верить, что эти, своего рода микрофармацевтические фабрики внутри организма пациента станут реальностью уже в ближайшем будущем.

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Грант 97-04-49112. ■**

Липосомы, нагруженные дофамином таким способом, показали замечательные результаты в биологических испытаниях. В малых дозах они

В докладе Национального управления США по изучению океана и атмосферы сообщается о повышении влажности воздуха в процессе глобального потепления климата, что грозит значительным дискомфортом и стрессовыми ситуациями для жителей ряда регионов Земли. Расчеты по моделям глобального изменения климата показали, что уровень влажности будет расти вместе с ростом температуры воздуха. Полученный результирующий тепловой индекс (resulting heat index) позволяет количественно оценивать, какие именно факторы

(и прежде всего содержание водяных паров в атмосфере) определяют способность человеческого организма рассеивать тепло. В регионах с повышенной влажностью воздуха (юго-восток США, Юго-Восточная Азия, Северная Австралия) тепловой индекс может существенно возрасти.

Environmental Science and Technology. 2000. V.34. №1. P.17A (США).

Американские ученые из Висконсинского университета исследовали траектории, структуры и другие параметры мощных циклонов над Атлантическим океаном. В частности, они изу-

чили полную информацию о циклоне 1994 г. "Гордон", скорость ветра в котором превышала 200 км/ч, и установили, что спустя четверо суток после его прохождения фотосинтетическая активность фитопланктона возросла более чем в пять раз. Причина — поступление в поверхностный слой больших количеств питательных веществ с глубин порядка 150 м, вызванное интенсивным перемешиванием вод ветрами. Так разрушительный для людей циклон обернулся благом для фитопланктона.

Sciences et Avenir. 1999. №633. P.47 (Франция).

Коротко



## О чем говорит гавайский плюм

Представления о структуре и составе глубинных недр Земли в значительной мере сформировались благодаря изучению Гавайских о-вов. Данные о стабильном положении здешней "горячей точки" легли в основу гипотезы, согласно которой природа вулканизма океанических островов, подобных Гавайям, определяется наличием плюмов — "заякоренных" на большой глубине колоннообразных вертикальных струй раскаленного мантийного материала.

Различия в изотопном составе базальтов океанических островов и срединно-океанических хребтов давно используются для проверки справедливости тех или иных моделей, описывающих конвекцию в мантии и химическую эволюцию Земли. Так, в своей недавней работе Ж.Блишер-Тофт с коллегами (J.Blichert-Toft et al.) на основе анализа изотопов Hf показали, что некоторые гавайские лавы несут следы переработки древних глубоководных осадков. Этот интереснейший результат важен тем, что дает надежду решить посредством комплексных геохимических и сейсмологических исследований гавайского плюма одну из важных проблем наук о Земле. Речь идет о характере конвекции в мантии: однородна она по всей глубине или же многоярусна?

В пользу последнего свидетельствует главным образом геохимическая стратификация мантии. Распределение изотопов Ne и Ar указывает на сохранение частью мантии ее первичного газового состава: там содержится немалая доля  $^{40}\text{Ar}$ , образовавшегося при распаде  $^{40}\text{K}$ . Чтобы подобный состав вещества мог сохраняться



Схемы мантийной конвекции: слева — в двухслойной модели сейсмический раздел на уровне 660 км служит для нее барьером; справа — в альтернативной модели погружающийся коровый материал достигает нижней мантии, а затем снова поднимается в виде плюма.

в течение всего времени существования планеты, его резервуар должен быть надежно изолирован от верхней мантии, которая в процессе образования коры в пределах срединно-океанических хребтов и островных дуг утратила большую часть первоначальных редких газов и литофильных элементов с крупным ионным радиусом (КИР). Таким образом, наиболее вероятное их местонахождение — нижняя мантия. Изменения в минеральном составе на глубине 660 км фиксируются сейсмическим разделом, который представляет собой поверхность резкого изменения скорости сейсмических волн; эту границу между сейсмическими слоями уже давно считают барьером для конвекции, блокирующим погружение холодных плит и подъем разогретого вещества ближе к поверхности. Следовательно, этот раздел отмечает, как и полагали, границу между истощенной верхней мантией и более примитивной нижней.

Однако эта модель входит в противоречие с недавно полученными данными сейсмической томографии, которые указывают на погружение многих литосферных плит глубже 660-километровой отметки. Если плиты в значительной мере проникали в нижнюю мантию на протяжении длительного периода земной истории, химическая стратификация имела мало шансов сохраниться.

Тем не менее необходимо учитывать, что сейсмическая томография может дать лишь "моментальный снимок" тепловой структуры мантии. Земля же последние 4.4 млрд лет медленно остывала, поэтому едва ли слоистый характер конвекции в мантии мог существовать в продолжение большей части геологического прошлого. Геохимические следы древней переработанной коры и осадков в гавайском плюме указывают на необходимость объединения усилий сейсмологов и геохимиков в изучении механизма конвекции в мантии.

Блишер-Тофт с коллегами также показали, что лавы с наиболее необычным изотопным составом гафния, который характерен для современных пелагических осадков, происходят из источника, в котором отношение Pb/Hf существенно более высокое, чем во многих гавайских лавах. Все это подтверждает предположения о том, что в гавайских лавах содержатся продукты переработки коры.

Присутствие в гавайском плюме древней переработанной коры позволяет предположить два различных сценария мантийной конвекции. Если корни плюма находятся вблизи сейсмического раздела на глубине 660 км, то этот уровень скорее всего служил нижней границей проникновения погружающихся плит. Это подкрепляет гипотезу, что полноглубин-

ная конвекция в мантии началась недавно. Напротив, если гавайский плюм зарождается на границе ядро—мантия, присутствие в нем элементов древней коры требует, чтобы такой же переработанный материал содержался и в нижней мантии. А это в свою очередь делает необходимым, чтобы плиты и 1—3 млрд лет назад проникали за пределы сейсмического раздела на глубине 660 км так же, как они это делают сегодня.

Каким образом можно определить глубину зарождения плюма? Геохимия дает лишь косвенный ответ на этот вопрос. По мнению некоторых исследователей, аномально высокое содержание изотопов осмия  $^{186}\text{Os}$  в некоторых гавайских лавах отражает присутствие в них небольших объемов материала из ядра Земли. Блишер-Тофт с коллегами также полагают, что отношение изотопов Hf и Nd в этих лавах указывает на плавление примитивной нижней мантии. Отсутствие следов верхней мантии в гавайских базальтах косвенно свидетельствует о том, что этот плюм рождается на больших глубинах.

Новейшие сейсмические данные показывают, что исландский плюм берет начало на границе ядра с мантией. Подобных исследований гавайского плюма еще не предпринималось. Для этого необходимо развернуть широкую сеть донных сейсмометров и только результаты такого мониторинга могут дать ответ на вопрос о характере конвекции в мантии.

Science. 1999. V. 285. № 5429. P. 846, 879 (США).

#### Космические исследования

### “Кассини” идет своим курсом

Космический аппарат “Кассини”, направленный в район Сатурна, совершил свой второй маневр вокруг Венеры, которая своим тяготением придала необходимый ему импульс. Пролет мимо этой планеты активно использован для ее изучения.

24 июня 1999 г. “Кассини” прошел всего в 620 км от Венеры и передал результаты своих наблюдений для обработки. 18 августа аппарат снова оказался в околоземном пространстве — в 1166 км от нашей планеты и совершил очередной гравитационный маневр, который вывел его на путь к Юпитеру. Около планеты-гиганта он проследует на расстоянии 9.7 млн км, и ее мощное тяготение направит, наконец, аппарат на финишную прямую — к Сатурну.

В пути бортовые приборы постоянно регистрируют космическую пыль: за 41 сут с начала измерений было зарегистрировано семь столкновений с подобными частицами. Их размеры и скорости говорят как о межпланетном, так и межзвездном их происхождении, но отчетливо различать одни и другие пока не удастся.

Astronomy and Geophysics. 1999. V. 40. №4. P. 33 (Великобритания).

#### Астрономия. Техника

### На пути к телескопам-воликанам

За время, прошедшее с момента, когда Галилео Галилей впервые нацелил в небо свою 4-сантиметровую астрономическую трубку, размеры телескопов многократно возросли, и “чемпионом” ныне считается Оптический телескоп им.Кека, установленный на гавайской вершине Мауна-Кеа. Диаметр его входного светового отверстия достигает 10 м. Но ученые мечтают о приборах намного чувствительней к слабому световому потоку удаленных источников. Этой проблеме был посвящен прошедший недавно в Швеции специальный симпозиум, на который собрались директора обсерваторий, астрономы, оптики, инженеры-телескопостроители из многих стран мира.

Конечно, уже действующие интерферометры, в которых в одну точку сводятся световые лучи разных приемников, тоже дают резкие изображения удаленных небесных объектов. Пример — Очень большой телескоп Европейской

южной обсерватории<sup>1</sup>. Но с помощью единого гигантского зеркала можно будет собирать куда больше света, а значит, обнаруживать и анализировать спектры весьма тусклых объектов. Такой прибор позволил бы выделять излучение, отраженное планетами звездных систем, расположенных вблизи Солнечной, исследовать химический состав их атмосфер (в частности, для выяснения возможности там жизни) или наблюдать чрезвычайно удаленные галактики, по которым можно судить о ранней эволюции Вселенной.

Удвоение диаметра главного зеркала увеличивает расходы на создание инструмента примерно в шесть раз, так что 100-метровый телескоп обошелся бы не меньше в 20—30 млрд амер. дол. Но технология совершенствуется и специалисты ЕЮО полагают, что теперь на это уйдет менее 1 млрд (вдвое меньше, чем на постройку Очень большого телескопа).

Большинство специалистов склоняется в пользу составных зеркал из сотен или даже тысяч сегментов, но немало конструкторов считают технически возможным отлить цельное 50-метровое зеркало. Такой монолит даст лучшие изображения и потребует меньше сложных конструкций для его поддержания.

С проектом Крайне большого телескопа выступили несколько шведских специалистов. Они предлагают создать гигантское составное зеркало из 550 шестиугольных сегментов 2-метровой размера. Вместе они образуют практически идеальную поверхность, фокусирующую свет звезды на 4-метровое вторичное зеркало, установленное в 70—80 м над главным. Оно в свою очередь посылает луч обратно через центральное отверстие в главном зеркале, где его анализируют фотокамеры и спектрографы. Однако такую

<sup>1</sup> Подробнее см.: Сурдин В. Г. Первые спектры, полученные Очень большим телескопом // Природа. 1999. №2. С. 70; Ожес. Крестины восьмиметровых телескопов // Там же. 2000. №1. С. 60—62; Он же. Спектрограф Очень большого телескопа // Там же. 2000. №2. С. 60.

большую систему зеркал (рассматривается даже вариант со 104 тыс.!) очень трудно отъюстировать.

В целях удешевления можно было бы отказаться от привычной параболической формы в пользу сферического зеркала, однако неизбежные тогда искажения пришлось бы корректировать. Преимущество же в том, что все сегменты могут быть одинаковыми, а это облегчит проблему полировки кривых поверхностей.

Группа астрономов из Национального объединения оптических обсерваторий (Тусон, штат Аризона), Университета штата Техас в Далласе и Пенсильванского университета в Университи-Парке предлагает проект 30-метрового телескопа, копирующего Телескоп им. Хобби и Эберли, который действует в Макдональдской обсерватории в Техасе. Его сферическое зеркало должно монтироваться на вращающейся платформе, нацеленной на высоту 55° над горизонтом. Постройка его не вызовет особых затруднений, а стоимость не превысит 250 млн амер. долл.

Коллектив ЕЮО готов разработать Ошеломляюще большой телескоп со 100-метровым сферическим зеркалом. Его первичное зеркало размером с футбольное поле должно будет поддерживаться сооружением, по высоте почти равным египетской пирамиде, а светособирающая поверхность вдесятеро превысит площадь всех построенных до сего дня телескопов. В отличие от других предлагаемых гигантов он сможет поворачиваться на 360°. На изготовление проектируемых в нем зеркал размером по 2,3 м в лучшем случае уйдет не менее восьми лет. Общая масса подвижной конструкции оценивается в 17 тыс. т, что в 35 раз больше, чем у знаменитого Телескопа им. Хейла, установленного в обсерватории Маунт-Паломар в Калифорнии. Проект этого воистину ошеломляющего гиганта должен быть завершен в 2002 г.; его строительство обойдется в 900 млн амер. долл.

Разнообразие идей, по мнению участников симпозиума, — фактор положительный. По-видимому, во многих случаях потребуются координация сил и средств, предоставляемых различными странами.

Science. 1999. V. 284. № 5422. P. 1913 (США).

## Астрономия

### Обсерватория им. Пьера Оже

На проект, реализация которого позволит раскрыть тайну происхождения космических лучей, 19 стран инвестируют 70 млн долл. США. В декабре 1999 г. начато строительство первой в мире обсерватории космических лучей.

Еще в 1938 г. французский физик П. Оже (P. Auger) пришел к выводу, что частицы космических лучей возникают вследствие каких-то грандиозных событий во Вселенной, масштаб которых почти невозможно оценить. В память об этом выдающемся физике и было решено назвать его именем будущую обсерваторию.

В Аргентине на площади в 3000 км<sup>2</sup> (что в 30 раз превышает территорию Парижа) будет размещен гигантский детектор космических частиц. Он включает 1600 резервуаров, каждый из которых наполняется 11 тыс. л дистиллированной воды. К 2001 г. детектор будет полностью готов к проведению исследований. Астрономы получат возможность улавливать такое количество частиц, которое достаточно для статистической оценки масштабов космических событий.

Сооружение такого детектора — путь к познанию более мощных космических событий, чем рождение сверхновых звезд и гамма-всплески. В 2002 г. на территории США намечено строительство второй подобной обсерватории, что позволит улавливать потоки частиц со всего небосвода.

Science et Vie. 1999. № 984. P. 16 (Франция).

## Зоология

### Хищная улитка — охотник на прыгучих рачков

Среди наземных брюхоногих моллюсков известно немало хищников. Как правило, их жертвами становятся относительно малоподвижные существа, например черви. Изредка брюхоногие моллюски поедают членистоногих, но это обычно трактовалось как случайность, а съеденные жертвы тоже относились не к самым подвижным животным. Тем более удивительными кажутся наблюдения новозеландского исследователя М. Эффорда (M. Efford), изучавшего хищных моллюсков-рутидид (*Rhytididae*), которые распространены в Южном полушарии.

В поле зрения исследователя попала эндемичная новозеландская рутидида *Wainuia urnula*. Оказалось, что основу пищевого рациона этой относительно крупной улитки с 2—3-сантиметровой тонкой декальцинированной раковиной составляют рачки-амфиподы (бокоплавы) из группы талитриды. Талитриды принадлежат к особой экологической группе амфипод, покинувших воду и перешедших к жизни на суше. Почти все они уже неспособны жить под водой, но все еще обычно обитают у берегов водоемов (моря, озер, ручьев). Некоторые талитриды могут далеко, до километра, удаляться от водоемов и жить в лесной подстилке. Они весьма подвижны и неплохо прыгают (за что и получили свое английское название "landhoppers"). Иногда талитриды становятся добычей мелких млекопитающих, но для большинства беспозвоночных хищников они слишком шустры. И вдруг — улитка!

Наловив в лесу под Веллингтоном несколько живых *W. urnula*, Эффорд сумел проследить и записать, как происходит охота. Оказалось, улитки видят свою добычу с расстояния около сантиметра. Подобравшись к рачку, улитка сначала замирает, приподняв голову и приоткрыв рот, а потом быстро, за десятые доли секунды, вы-



ворачивает свой одонтофор — мускулистый язык, на котором расположена ленточка радулы, той самой “терки” с рядами зубчиков, которой улитки соскребают пищу. Только у хищных моллюсков зубы длинные и напоминают иголки. Одонтофор у *W. urnula* имеет в сечении V-образную форму и образует желобок, который захватывает рачка. Одонтофор выворачивается, захватывает добычу и втягивает ее в рот одним движением, затрачивая на все не более двух секунд. В большинстве случаев рачок не успевает среагировать, и только когда улитка атакует с расстояния более полусантиметра, талитриде все-таки удается иногда удрать.

Талитриды *Parorchestia tenuis*, на которых охотится моллюск, весьма обычны в подстилке новозеландских лесов и местами достигают численности 1000 экз/м<sup>2</sup>. Вероятно, именно такое большое количество этих рачков делает охоту на них энергетически выгодной, что и определило пищевые пристрастия моллюска. Рачки *P. tenuis* имеют яркую красную окраску — за счет каротиноидов. И возможно, именно эти вещества придают красноватую окраску раковинам *W. urnula*, что не характерно для других видов рода. Кроме талитрид жертвами *W. urnula* иногда оказывались другие членистоногие — насекомые (включая муравьев) и мокрицы, а также мелкие улитки и земляные черви. Встречаются в их рационе и растительные остатки.

Интересно, что разные подвиды *W. urnula* охотятся на амфипод с различным успехом: талитриды составляли более 80% пищи у *W. urnula urnula* с Северного острова Новой Зеландии и только 30% — у *W. urnula nasuta* с Южного острова; остальные проценты пришлись преимущественно на “традиционных” червей. Другие же виды моллюсков рода *Wainuia* оказались неспособны поймать и съесть амфипод даже в лабораторных садках.

*Journal of Molluscan Studies*. 2000. V. 66. Part 1. P. 45–52 (Великобритания).

## Конвергенция у пустынных ящериц

Своеобразное поведение американской пустынной жабоголовкой ящерицы (*Phrynosoma platyrhinos*) наблюдал Ч.Петерсон<sup>1</sup>. Во время проливного дождя при довольно низкой для ящериц температуре (15°C) жабоголовка не только не убежала в какое-нибудь убежище, а, наоборот, подставила спину под струи воды, приняв необычную позу: широко расставила лапы, приподняла заднюю часть тела, опустила голову. При этом животное производило частые ритмичные движения нижней челюстью. Ящерица пила! Достоен внимания не только тот факт, что эти, живущие в крайне засушливых пустынях, ящерицы вообще пьют воду (ранее считалось, что они относятся к числу специализированных пустынных организмов, получающих влагу только из пищи), но и то, как они это делают. Поскольку попить из лужицы в пустыне довольно трудно (вода моментально впитывается грунтом), ящерица собирает ее всей поверхностью тела и “транспортирует” прямо в пасть. Именно для этого она и принимает столь необычную позу. Мало того, на коже ящерицы имеются микроскопические бороздки, специально приспособленные для стекания воды в определенном направлении.

Такой феномен у жабоголовки Петерсон наблюдал впервые. Но вообще о подобном способе питья было известно у другого вида жабоголовки, и, что особенно замечательно, у совершенно далеких от них в родственном отношении ящериц — австралийского молоха (*Moloch horridus*) и круглоголовки (*Phrynocephalus*), распространенных главным образом в Центральной Азии и встречающихся в России. Эти три группы ящериц представляют собой удивительный пример конвергенции (схождения признаков у неблиз-

кородственных групп организмов в процессе их эволюции). Мо и круглоголовки — две совершенно разные ветви обширного семейства агамовых ящериц, а жабоголовки — уклоняющаяся ветвь игуан, последнее время выделяемая в отдельное семейство. Живут они в разных частях света, обитает же их то, что все они обитатели крайне засушливых степей и потребители своеобразного корма: муравьев.

Специализация к жизни в ровых пустынях и питанию муравьями наложила хорошо выявленный и сходный отпечаток на их облик и жизнедеятельность. Первое, на что обратили внимание герпетологи, — удивительное внешнее сходство: приплюснутое тело, круглая голова, загигающийся на спину хвост, совершенно “неящеричный” облик. Кроме того, тело их обычно украшено шиповидными чешуями (в чем молохо нет равных); у них сходная окраска и одинаковые приспособления для защиты слезных желез и глаз. Все ящерицы этих трех групп используют одинаковую стратегию и тактику охоты: одинаково едят. Даже многие элементы социального поведения у них совпадают. И вот теперь выяснилось, что и воду они собирают одинаково. Подобного умения у других пустынных ящериц (но сходным образом “пьют” и некоторые пустынные черепахи и намибийские жуки).

Обнаружение у молоха, круглоголовки и жабоголовки одинаковых кожных структур, транспортировки воды и одинаковых связанных с этим поведенческих адаптаций расширяло представления о конвергенции этих ящериц. Петерсон связывал их способ добывания воды с меккофагией (питанием муравьями): в сравнении с другими пустышными объектами муравьи составляют относительно малую часть рациона, и поэтому ящерицы особенно нуждаются в дополнительном источнике. В крайне засушливых пустынях только редкие дожди дают такую возможность, и ящерицам приходится использовать

<sup>1</sup> Peterson Ch. // The Southwestern Naturalist. 1998. V. 43. № 3. P. 391–418.



максимально, собирая дождевые капли всей поверхностью тела.

**О Д.В.Семенов,**  
кандидат биологических наук  
Москва

## Этология

### Полет — средство от депрессии

Немецких зоологов Х.А.Хофмана и П.А.Штефенсона (H.A.Hofman, P.A.Stevenson) побудили к исследованию насекомых китайские уличные игроки: с древних времен они традиционно проводят бои сверчков, собирая зрителей, которые делают ставки на бойцов.

Как ведут себя самцы сверчков, которых после содержания в изоляции выпускают на «ринг»? Их действия подчинены определенному ритуалу. Сначала они шевелят и как бы «фехтуют» своими антеннами, потом демонстрируют мандибулы (челюсти), вначале с одной стороны, затем — с обеих, после чего начнется сама схватка, когда челюсти смыкаются и поражают противника. Если партнер отступает, состязание может быть прекращено на любой стадии. После сражения проигравший сверчок находится в состоянии депрессии, уходит от контактов с другими самцами. И только через 24 ч он способен снова принимать участие в схватке.

Китайским игрокам было совсем не интересно выдерживать проигравшего сверчка в течение суток. Чтобы быстрее восстановить его боеспособность, они применяли такой прием: трясли сверчка в ладонях и подбрасывали в воздух. После полета сверчок снова был готов к схватке.

Ученые решили экспериментально проверить, как влияет полет на восстановление агрессивности самцов. Их результаты полностью подтвердили практику китайцев: полетавшие сверчки восстанавливали боеспособность. Это не зависело от длительности полета — 10-секундный полет был так же эффективен, как и 15-минутный.

Казалось бы, агрессия и полет — совершенно разные формы проявления жизнедеятельности сверчков; центр возбуждения агрессивного поведения находится в головном мозге, а двигательный центр — в нервном узле грудного отдела. Но между этими центрами существуют связи, они-то и обеспечивают активацию агрессивного поведения в ответ на активацию двигательного центра. Если же в результате схватки эта связь повреждается, то, увы, побежденному сверчку полет не помогает.

Nature. 2000. V. 403. № 6770. P. 613 (Великобритания).

## Физиология растений

### Фитогормоны и урожайность

Достижения в исследованиях по физиологии растений позволяют активно внедрять различные фитогормоны для успешного выращивания сельскохозяйственных культур. В Орловском государственном университете Т.И.Пузина и ее коллеги изучали распределение фитогормонов в тканях картофеля. Именно фитогормоны регулируют поступление усвоенных веществ в клубни во второй половине вегетационного периода. Исследователям удалось понять общую картину распространения по органам растения одного из фитогормонов — индолилуксусной кислоты — и описать динамику ее распределения в онтогенезе.

Они также установили ключевые соотношения других фитогормонов: цитокининов, гибберелинов, абсцизовой кислоты, влияющих на физиологические процессы. В частности, выяснилось, что высокому соотношению индолилуксусной и абсцизовой кислот соответствует максимальная активность хлоропластов, при этом усиливаются дыхание и темпы роста. При изменении гормонального статуса меняется и характер минерального питания.

Внешнее введение индолилуксусной кислоты изменяет гормональный баланс растения, вслед-

ствие чего изменяются состав и анатомические показатели клубня, возрастает количество крахмала и клетчатки. В поставленном исследователями полевом опыте растения опрыскивали, а посадочные клубни замачивали в растворе индолилуксусной кислоты. В результате было достигнуто существенное повышение урожайности: прибавка общей массы клубней по сравнению с контролем составила 28%, или в пересчете на площадь — около 300 ц на гектар.

Известия РАН. Серия биологическая. 1999. № 4. С. 320—334 (Россия).

## Медицина

### Болезнь Альцгеймера: факторы риска

Риск приобрести в пожилом возрасте болезнь Альцгеймера выше у детей из многодетных семей, а также — у выросших в больших городах. К такому выводу пришли ученые из Американской академии неврологии.

Взяв для обследования группу из 770 человек старше 60 лет, среди которых половина страдала болезнью Альцгеймера, они проанализировали условия их жизни, в том числе детских лет. Выяснилось, что большинство респондентов родилось в многодетных, недостаточно обеспеченных семьях. Исследователи подсчитали, что риск болезни увеличивается на 8% с каждым последующим ребенком. Так, у выросших в семьях, где было пять и более детей, риск заболеть на 39% больше, чем в малодетных семьях (возраст матери не увеличивает риск заболевания).

Таким образом, истоки старческой болезни закладываются в раннем возрасте, причем они обусловлены физиологическими. Область мозга, в которой появляются первые признаки заболевания, наиболее длительно созревает в детстве и юношестве, поэтому на нее особенно влияет недостаток питания, витаминов и т.д. Нарушенный процесс созревания в дальнейшем может привести к патологии. Следовательно, дело

сводится к социально-экономическому положению многодетных семей.

Но ученые обнаружили еще один фактор риска: этой болезнью чаще страдают люди, выросшие в больших городах. Причина, по мнению исследователей, в том, что дети мегаполисов получают менее здоровую и естественную пищу, что снижает общую сопротивляемость организма.

Neurology. 1999. №1; [Http://www.aan.com](http://www.aan.com)

## Геотектоника

### Острова архипелага Самоа — цепь “горячих точек”?

Американский геохимик С.Харт (S.Hart) открыл к востоку от архипелага Самоа, состоящего из 14 островов вулканического происхождения, подводный действующий вулкан Фа’афанине (Fa’afanine). Детальное изучение его строения и состава изверженных пород может послужить дальнейшему развитию теории формирования островных цепей<sup>1</sup>.

Существующие карты дна океана вокруг этих островов были составлены несколько лет назад по материалам спутниковой альтиметрии и оказались крайне неточными. Обследуя рельеф дна, Харт констатировал, что и батиметрические карты, имевшиеся в его распоряжении, не давали реальной картины: вместо мощного вулкана высотой 4300 м на этом месте показано небольшое холмообразное поднятие. Только благодаря использованию многолучевого сонара “Sea Beam” удалось определить фактические размеры вулкана и важные детали рельефа дна.

Харт и его коллеги собрали пробы донных пород, проведя 17 драгировок в различных точках на склонах вулкана, три — в его кальдере и еще три — по внешним рифтовым зонам. Состав пород, поднятых из кальдеры, указывает на недавнее извержение (целые

серии землетрясений, отмеченных на о-вах Самоа несколько лет назад, говорят о высокой вулканической активности района).

Харт полагает, что о-ва Самоа — цепь “горячих точек”, на конце которой пока находится самый молодой вулкан Фа’афанине.

Geotimes. 1999. V. 44. № 7. P. 9 (США).

## Геология

### Золотое происхождение красных глин в Северном Китае

Палеомагнитное исследование разрезов Лессового плато (среднее течение р.Хуанхэ) показало, что контакт между красноватыми глинистыми осадками позднего кайнозоя (названными свитой красных глин) и покрывающими их лессами проходит около границы геомагнитных эпох Гаусс и Матюяма.

Исследования, проведенные китайскими специалистами в последние годы, позволили установить, что:

- свита красных глин (мощность до 130 м) формировалась в миоцене и плиоцене; нижние горизонты в центральных частях Лессового плато имеют возраст 7 млн лет;

- скорость осадконакопления красных глин сопоставима со скоростью формирования погребенных почв в лессовой части разрезов;

- литологический и геохимический анализ показал, что красные глины имеют золотое происхождение; в их составе преобладают частицы размером менее 30 мкм;

- переход от красных глин к лессам отражает крупную перестройку атмосферы. В меридиональном направлении гранулометрия частиц красных глин не меняется, а в лессах показывает их измельчение в отложениях южного направления, что согласуется с преобладанием зимних муссонов. В период перехода от накопления красных глин к отложениям лесса происходило формирование или резкое усиление азиатского зимнего муссона.

В позднем миоцене и плиоцене летние муссонные дожди были интенсивнее, чем в голоцене. Из этого следует, что около 7 млн лет назад Тибетское плато достигало высоты, достаточной для поддержания летней муссонной циркуляции.

INQUA Congress. 3–11 August. 1999. Durban. South Africa. P. 53.

## Океанология

### “Немо” — обсерватория под водой

В июне 1999 г. научно-исследовательское судно, принадлежащее Университету штата Вашингтон в Сиэтле (США), совершило специальный рейс в район Тихого океана, удаленный от побережья штата Орегон на 400 км. Здесь находится подводный вулкан Аксиал (Осейов), на вершине которого около 30 американских и канадских ученых и инженеров начали оборудовать автоматическую подводную обсерваторию.

С этой целью ранее там уже были установлены приборы для изучения химического состава воды и регистрации землетрясений: Аксиал — активно действующий вулкан, находящийся в пределах подводного хребта Хуан-де-Фука, который известен высокой сейсмической и вулканической активностью, связанной с проходящим здесь крупным разломом земной коры.

Вершина горы Аксиал находится на глубине 1400 м под поверхностью океана и возвышается на 1 тыс. м над окружающим ее морским дном. Специалисты намерены пробурить несколько скважин с целью взять образцы геологических пород для изучения в лабораторных условиях. Морские биологи интересуются чрезвычайно специфическим сообществом организмов, обитающих вблизи горячих излияний и выходов газов из кратера вулкана и трещин на его склонах.

Этой подводной комплексной установке присвоено имя “Немо” (“New Millennium Observatory” — “Обсерватория нового тысячелетия”).

Science. 1999. V. 284. № 5422. P.1901(США).

<sup>1</sup> См. также: Закономерности расположения вулканических островов // Природа. 2000. № 4. С. 85.

## Остров-призрак

8 января 1999 г. в южной части Тихого океана, в точке с координатами 20.86° ю.ш., 175.54° з.д., поднялся над волнами столб дыма. Через четверо суток самолет, посланный Силами обороны Королевства Тонга, провел аэрофото съемку, позволившую установить, что здесь возник остров, не нанесенный ни на какие карты. С самолета, опустившегося до высоты 150 м, была сделана в моменты разрывов облачности достаточно детальная фото- и киносъемка.

Островок имел 200—300 м в длину и 30—40 м в ширину. Казалось, что он то поднимается над уровнем моря примерно на 13 м, то опускается. В пределах свежего конуса из небольшой расселины изливалась раскаленная лава. Авиаслужба опубликовала предостережение для самолетов об опасности приближения к району менее чем на 5 км.

Бурная подводная активность продолжалась до 14 января, после чего остров полностью исчез. На его месте осталась сравнительно мелководная банка, погруженная на глубину от 300 до 400 м. Над нею вода была покрыта слоем пепла, а вокруг плавало множество обломков пемзы. На следующий день эту акваторию обследовало судно "Savea", на борту которого находились специалисты из Австралии, Королевства Тонга, Канады и Новой Зеландии.

Ученым известно, что в пределах о-вов Тонга, к северо-западу от о.Тонгатапу, протянулась подводная вулканическая дуга Тофуа. Здесь на дне находится довольно крупный безымянный стратовулкан, местами поднимающийся почти до морской поверхности (прежние батиметрические измерения в одной из точек показали глубину всего 13 м). Подводный хребет простирается, по-видимому, на северо-северо-восток.

Вулканическая активность прежде отмечалась здесь в августе 1911 и июле 1923 г., причем во втором случае облака пара подни-

мались на многие десятки метров; в январе 1970 г. воды океана внезапно приобрели совершенно необычную окраску, и это тоже может быть связано с вулканическими выбросами.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1999. V. 24. № 3. P. 5 (США).

## Вулканология

### Извержение было предсказано точно

В середине дня 10 мая 1999 г. в Мексике взорвался вулкан Колима. Взрыв был такой силы, что содрогнулись все здания в одноименном городе, находящемся в 32 км от него.

Полной неожиданностью это событие не было: за 2 ч до взрыва сейсмолог Г.Рейес (G.Reyes) сообщил о возможности извержения в ближайшее время. Свой прогноз он основывал на характере нарастающей сейсмичности<sup>1</sup> и на поступивших с февраля сведениях о том, что у вершины вулкана сначала появились новые небольшие кратеры и трещины, из которых бурно выделялись газы, а затем процесс резко прервался, одновременно сильно углубился главный вершинный кратер.

Получив прогноз, власти штата Халиско срочно передали по телефону и радио предупреждение об опасности в деревни, расположенные на склонах горы. Жители были эвакуированы, и жертв удалось избежать.

Сразу после мощного взрыва над вершиной на высоту 6,5 км (более 10 км над ур.м.) поднялось грибообразное облако дыма. Свидетели, находившиеся в 8 км от вершины, сообщили, что со склонов скатилось несколько небольших потоков пирокластического материала. Вулканические бомбы, вылетающие на расстояния до 4,5 км от жерла, подожгли леса на склонах горы.

После четырехдневной паузы взрывы возобновились. Столбы

<sup>1</sup> См.: Колима продолжает извергаться // Природа. 2000. № 5. С. 86.

пепла поднимались на пятикилометровую высоту. За одни сутки 17 мая произошло около 20 взрывов. Активность Колимы не утихла по крайней мере до 26 мая.

Наблюдения ведут сотрудники местного университета, а также НАСА (США), осуществляющего спутниковый мониторинг.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1999. V. 24. № 4. P. 4 (США).

## Климатология. Организация науки

### Японо-американский климатологический центр

Осенью 1999 г. в Фэрбенксе (штат Аляска, США) было открыто новое совместное японо-американское научное учреждение — Международный центр арктических исследований. Сейчас он насчитывает 50 научных сотрудников, а к 2005 г. штат должен возрасти до 150 человек, не считая временно приглашенных иностранных специалистов.

Основная цель Центра — выработка прогноза глобальных изменений погоды, на что самым значительным образом влияет полярный регион Северного полушария. Особое внимание будет уделяться состоянию вечной мерзлоты в условиях глобального потепления. Существуют опасения, что рост температуры приведет к таянию этого слоя почвы и высвобождению заключенных в нем больших масс CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> — основных парниковых газов. В результате граница постоянного снежного покрова может резко сместиться к северу, сократив площадь поверхности, активно отражающей солнечное излучение. Так может возникнуть саморасширяющаяся система глобального потепления.

Наблюдениями уже установлено, что в Арктике есть районы, где потепление идет быстрее, чем к югу от них. Так, среднегодовая температура на территории Аляски в каждое из двух последних десятилетий повышалась на 1°C, тог-



да как общепланетарная средне-годовая температура поднялась менее чем на 1°C за все истекшее столетие. Ныне вскрытие полярных льдов происходит весной ранее, а осеннее их замерзание — позднее, чем в прежние годы.

Новый коллектив займется также изучением того, как именно климатические изменения на Крайнем Севере влияют на погодные условия в более южных широтах. Известно, например, что несколько лет назад четверть урожая риса в Японии погибла из-за изменений в динамике воздушных масс Заполярья. Явно влияет на рыболовство характер сдвигов в циркуляции вод северной части Тихого океана и Берингова моря.

Создание нового Центра обошлось в 32 млн амер. долл.; дальнейшее финансирование берут на себя государственные, университетские и частные фонды обеих стран.

Science. 1999. V. 285 № 5435. P. 1827 (США).

## Климатология

### Такой засухи в США не было 100 лет

Летняя засуха 1999 г., охватившая территорию США от штата Мэн до штата Джорджия, заставила федеральные власти и администрации штатов обратиться за помощью к специалистам — гидрологам и гидрогеологам.

Необходимо отметить, что еще за три года до засухи материалы наблюдений водомерных постов и данные об уровнях грунтовых вод указывали на ее вероятное наступление: речной сток со всей площади водосбора среднеатлантических штатов сократился на 3/4 от нормы, что сопровождалось падением уровня подземных вод.

В 1999 г. мониторинг водного режима проводился на 7 тыс. водомерных постов, причем 4 тыс. из них оснащены приборами спутниковой телеметрии, которые работают в реальном масштабе времени и имеют вход в Интернет.

Геологическая служба США постоянно сообщала средствам массовой информации и Конгрессу

о состоянии и перспективах использования водных ресурсов в районах, пораженных засухой. Существенный ущерб был нанесен вторжением засоленных вод в пресные грунтовые воды восточных окраин штатов, где горизонты резко понизились; засоленные воды просочились даже в заливы Чесапик и Делавэр и проникли в низовья р.Гудзон, осложнив там экологическую ситуацию.

Как информировал главный гидролог Геологической службы США Б.Хёрш (B.Hirsch), эта служба регулярно обеспечивала власти данными о запасах и расходах воды в водохранилищах, реках, содержании в грунтах и ее качестве, а также о состоянии водной флоры и фауны. Располагая столь широким объемом информации, власти различных уровней могли принимать оперативные и эффективные меры.

С наступлением осени гидрогеологические исследования не потеряли своих темпов, поскольку еще много времени потребуется для оценки последствий этого колоссального стихийного бедствия, чтобы на базе полученных материалов давать надежные прогнозы подобных явлений.

Geotimes. 1999. V. 44. № 7. P. 9 (США).

## Метеорология

### Модель прогноза ураганов

Если сейчас синоптики располагают надежными методами прогноза траекторий ураганов (тропических циклонов), то определение их интенсивности остается достаточно сложной проблемой. Так, в 1988 г. движение урагана "Митч", обрушившегося на центральные области США, предсказано точно, но в прогнозе его мощности были допущены ошибки. Аварийным же службам для организации и оптимизации мероприятий по устранению последствий ураганов остро необходим именно прогноз их интенсивности.

К.Эмануэль (K.Emanuel) недавно предложил точный и несложный способ прогноза. Он смоделировал процесс теплообмена между поверхностью океана

и центральной частью урагана — "глазом бури", а затем дополнил интенсивность теплообмена двумя другими параметрами: начальной скоростью развития урагана и термодинамическим состоянием области атмосферы, которую тот пересекает. Приложив расчеты по своей модели к собранной информации по силе ураганов последних лет, он обнаружил по большинству данных впечатляющее совпадение.

Sciences et Avenir. 1999. № 634. P. 26 (Франция).

## Палеозоология

### Зачем ихтиозаврам такие большие глаза?

Ихтиозавры, жившие 250—90 млн лет назад, имели одну характерную особенность — необыкновенной величины глаза, большие, чем у кого-либо из ныне живущих позвоночных. Специалисты Палеонтологического музея в Калифорнии (R.Motani, B.M.Rothschild et al.) подробно исследовали эту особенность.

Диаметр глазного яблока в какой-то степени соотносится с размером тела, но у разных позвоночных варьирует очень незначительно. Ихтиозавры, как и некоторые птицы, представляют исключение. Самое большое глазное яблоко (253 мм) было у ихтиозавра рода *Temnodontosaurus*, представители которого достигали в длину 9 м. Возможно, могли существовать и такие морские рептилии, которые имели длину 15 м, а глаз — более 300 мм. Ясно: чем больше глазное яблоко, тем больше в нем фоторецепторных клеток и, как следствие, лучше зрение. Поэтому обычно крупные глаза у тех животных, для которых зрение играет важнейшую роль в их ориентации. Большой же зрачок обеспечивает животному способность видеть предметы при слабом освещении.

Самые большие относительно длины тела глаза (более 220 мм) оказались у ихтиозавра рода *Ophibalmosaurus*, у них же и наибольший диаметр зрачка — около 100 мм.



Ихтиозавры *Ophthalmosaurus* жили и охотились в мезопелагическом слое океана, на глубине от 200 до 1000 м, где единственные источники света — светящиеся органы некоторых рыб. Поэтому, полагают калифорнийские ученые, этим морским рептилиям и нужны были такие крупные глаза с большими зрачками.

Nature. 1999. V. 402. P. 747 (Великобритания).

## Палеонтология

### Какова древность первых многоклеточных организмов?

Американские палеонтологи из Йельского университета, работая осенью 1998 г. в районе бассейна р. Виндхья (Центральная Индия), обнаружили в местных породах извилистые ходы, оставленные червеобразными организмами толщиной около 0,5 см. Радиометрический анализ показал тогда, что осадочные породы, испещренные такими “тоннелями”, имеют возраст около 1,1 млрд лет. Это стало сенсацией, так как до тех пор древнейшие следы многоклеточных организмов относились к периоду<sup>1</sup>, отстоящему от нас “всего” на 600 млн лет.

Однако многие специалисты по геохронологии указали, что зернистые породы с ходами могли быть продуктом эрозии весьма древних пород, затем переотложившихся, а уже позже в эти осадочные породы проникли червеобразные организмы.

Индийский седиментолог Д.М. Банерджи (D.M. Banerjee) совместно с австрийским геохронологом В.Франком (W.Frank) применили К/Аг методику датирования (измерялось количество аргона, накопившегося при радиоактивном

распаде калия в вулканическом пепле, выпавшем до появления осадочных пород с “тоннелями” червей). Все изученные образцы дали согласный возраст — примерно 620 млн лет. Но П.Ренн (P.Renne) подчеркивает, что его предшественники подвергали анализу все образцы целиком, а не мелкие зерна породы, что может исказить результаты в любую сторону, так как не исключено, что в образец входят отдельные зерна с совершенно различным возрастом. Кроме того, в процессе выветривания часть содержащегося в породе аргона могла улетучиться, что также отражается на выводах.

В апреле 1999 г. в Лакнау (Канада) на специальном семинаре, посвященном данной проблеме, большинство специалистов подвергли сомнению возраст находки в 1 млрд лет. Однако столь же решительно отвергли и называемый некоторыми учеными более чем вдвое меньший возраст. Так, индийский палеонтолог Р.Дж. Азми (R.J.Azmi), обработав образцы слабыми кислотами, выделил “мелкие ископаемые раковины”, которые, по его утверждению, характерны для кембрийской эпохи (540 млн лет).

Согласно проведенному британскими коллегами на месте исследованию образцов, “ископаемые раковины” на самом деле — артефакт, появившийся вследствие химических изменений породы. Никто из участников семинара не согласился с утверждением Азми, что им вскрыты следы более молодых организмов.

Общий вывод, к которому пришли ученые: более чем миллиарднолетний возраст, несомненно, завышен, а 620 млн лет можно считать достаточно доказанным возрастом, что отодвигает время появления на Земле первых многоклеточных животных примерно на 20 млн лет.

Science. 1999. V. 284. № 5413. P. 412 (США).

## Археология

### Судостроение в Древнем Риме

Во время работ по реконструкции и модернизации железнодорожной магистрали Генуя—Рим были обнаружены восемь хорошо сохранившихся судов среди развалин античного порта у г. Пизы. Изучение их конструкций позволяет с новых позиций говорить о состоянии и уровне морского судостроения в Древнем Риме, а также реконструировать природную среду, в которой началось строительство портовых сооружений Пизы. Все это может дать представление об интенсивности торгового мореплавания по Средиземному морю в период между последними десятилетиями I в. до н.э. и концом V в. н.э.

Руководитель раскопок С. Бруни (S. Bruni) считает, что 14-метровая длина и 6-метровая ширина корпуса одного из найденных судов позволяет считать его конструкцию исключительно редкой. Бруни полагает, что это уникальное судно — одно из первых совершенных боевых кораблей Римской империи. Корабль оснащен сложной системой защиты и нападения, которая представляла собой выдвинутые по бортам горизонтально ориентированные деревянные брусья, уходящие торцами в остов корабля; носовая часть этой “плавающей крепости” имела форму клыка или когтя, закованного в металл.

В трюмах найденных торговых судов сохранилась часть грузов: амфоры, чаши, масляные светильники, монеты. В развалинах порта археологи нашли около 300 амфор, исполненных в пуническом и итальянском стилях, характерных для II в. н.э. La Recherche. 1999. № 32. P. 25 (Франция).

<sup>1</sup> См.: Бурзин М.Б., Гниловская М.Б. Какими были древнейшие животные // Природа. 1999. № 11. С. 31—41.

М.И.Каганов,  
доктор физико-математических наук  
Белмонт, США

Смотришь фильм, читаешь книгу и вдруг осознаешь, что ты бывал в тех местах, где происходит действие. Восприятие обостряется, возникает ощущение присутствия. «Я ходил по этой улице», — мелькает в сознании, и участь героев начинает волновать больше, чем раньше.

Естественно, я знал, что в книге «Дело» № УФТИ речь пойдет о моем УФТИ — Украинском физико-техническом институте, в котором я проработал 21 год, чуть меньше половины своего «срока службы»: с момента окончания Харьковского университета в 1949-м до 1970-го, когда переехал в Москву, в Институт физических проблем (теперь им.П.Л.Капицы).

И все же прочитанное поразило меня больше, чем я ожидал.

Впервые в УФТИ я попал года за полтора до окончания университета. Посещал институтский семинар. Познакомился с будущими сослуживцами. Некоторые стали потом друзьями. Ходили в УФТИ вдвоем, как и занимались все университетские годы — В.М.Цукерник (Витя) и я. Однажды наш учитель Илья Михайлович Лифшиц, докладывая свою работу на семинаре, упомянул, что мы (Витя и я) вычислили какой-то нужный ему интеграл. Сидящий в первом ряду А.А.Слуцкий, один из ведущих сотрудников УФТИ, обернулся и посмотрел на нас. Это послужило поводом Л.Н.Розенцвейгу (Липе) сострить: «Товарищ Слуцкий вас заметил и, в гроб сходя, благословил». Острота

оказалась грустно-пророческой: вскорости Слуцкого не стало. Он — один из упоминающихся в «Деле».

Мы прекрасно знали, что 37-й год не прошел мимо УФТИ. Не могу сегодня с уверенностью сказать, что нам были известны имена всех жертв. Но что Ландау бежал из Харькова и это не избавило его от ареста и что только вмешательство Капицы его спасло, — знали. Пытаясь всмотреться в прошлое, очень трудно вспомнить, когда что стало известно. Мысли о 37-м годе, как именовался весь период террора, были обязательной составляющей нашего сознания (во всяком случае в нашей семье и в компании самых близких друзей). И все же несомненно: XX съезд, доклад Хрущева произвели ошеломляющее впечатление. Думаю, большинство до 1956 г. не представляло себе масштабов происходившего.

Директором УФТИ в 1949 г. был К.Д.Синельников, его заместителем — А.К.Вальтер, секретарем партийной организации (почти бессменным) — А.И.Шпетный. Все эти фамилии встречаются в книге «Дело» № УФТИ». Прежде чем открыть книгу, я уже задумывался: как они вели себя «тогда»? И вообще, что меня ждет за глянцевою обложкой, изображающей, по-видимому, стену тюрьмы и девять портретов — девять жертв «Дела»? Судьбы тех, кто на портретах, разные. Четверо расстреляны.

После нескольких месяцев волнений в октябре, наконец оформлен: стал младшим научным сотрудником теоретического отдела, руководимого Лиф-



Ю.В.Павленко, Ю.Н.Ранюк,  
Ю.А.Храмов.  
«Дело» № УФТИ. 1935–1938.

Киев: Феникс, 1998. 324 с.

шицем. Получил допуск к секретным работам (УФТИ принимал участие в исследованиях, связанных с атомным проектом). Кроме меня в отделе было еще два сотрудника: Липа Розенцвейг и П.Б.Найман (Пеля). Очень скоро мы стали друзьями. С Ильей Михайловичем тоже установились уважительно-дружеские отношения. Липа, на пра-

вах старшего, объяснял: попасть в УФТИ трудно (секретность и прочее), но после того, как попал, ты в институте навсегда. “Вынесут ногами вперед”, — так он выразился. И ошибся. Вскоре проратилась волна увольнений. Меня она не коснулась. Боюсь ошибиться, но, по-моему, увольняли только евреев. Институт лишился нескольких талантливых сотрудников. Время, к счастью, стояло “вегетарианское”: арестов не было.

Институт жил бурной, очень интересной жизнью. Благодаря атомным делам финансирование по сути не ограничивалось. Тематика была разнообразной. Провинциальности практически не ощущалось, хотя раздражала почти полная закрытость: не встречались с зарубежными учеными, не участвовали в международных конференциях, не публиковались в западных журналах. Первый раз (и единственный в УФТИ) я выехал за рубеж, правда в ГДР, на конференцию стран СЭВ, в 1965 г. Но институт расширялся, разрастались теоретические отделы. На окраине Харькова, в поселке Пятихатка, был создан филиал, который по площади вскоре стал больше основной части института. От УФТИ сначала отделился Институт радиофизики и электроники (ИРЭ), а значительно позже возник Физико-технический институт низких температур (ФТИНТ), зародившийся в недрах криогенной лаборатории.

Моя жизнь в УФТИ складывалась замечательно. Под руководством Лифшица, я приобретал знания и опыт. Защитил диссертации — кандидатскую и докторскую. Начал преподавать в университете. Получил звание профессора. Прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией.

Эта скороговорка скрывает многое. На фронте я вступил в партию и после демобилизации пришел в университет с партийным билетом в кармане. Партийная организация УФ-

ТИ росла вместе с институтом. С 60-х годов общее партийное собрание невозможно было собрать внутри института. Не было помещения, которое вмещало бы всех институтских членов партии. Снимали зал на стороне. Обычно в буфете торговали пивом, и к концу собрания многие начинали терять привычный контроль над собой. Но при этом шумная аудитория была совершенно послушна и штамповала угодные руководству решения. Даже в тех (к счастью, редких) случаях, когда от них зависела судьба человека.

Кирилл Дмитриевич Синельников не принимал явного участия в общественной жизни института. Дирекцию на партийных собраниях представлял Вальтер (он умел спать на собраниях так, что голова при этом не клонилась). Иногда появлялся для программного доклада Синельников. Это всегда воспринималось как событие. Его авторитет был огромный. В институте царил авторитарный режим. Мне думается, именно директор определял выбор главных направлений деятельности научных коллективов. Правда, те, которые непосредственно оказались связаны с атомным проектом. Особенно откровенно авторитарность проявлялась в том, что называлось подбором руководящих кадров. Об этой стороне жизни института можно вспомнить много интересных и грустных фактов, но, боюсь, это уведет меня в сторону.

Хочу понять, что послевоенный УФТИ унаследовал у довоенного, у того, которому посвящена книга. В разговорах старых сотрудников он часто упоминался. И, если мне не изменяет память, как правило, с некоей ностальгией. Много, что было заведено тогда, сохранялось. Например, библиотечные порядки со свободным доступом к книжным полкам, с переплетением журналов по годам. Некоторое время научные сотрудники имели ключи от библиотеки. Когда институт разросся и чис-

ло сотрудников многократно увеличилось, ключи отобрали.

Запомнился веселый рассказ о том, как Иван Васильевич Обреимов (первый директор УФТИ) издал приказ, запрещающий приходить в библиотеку без штанов. Кое-кто являлся туда сразу после тенниса — в трусах, и пожилая заведующая смущалась. Я ее еще застал. Она продолжала работать в начале 50-х годов и была всей душой предана своей библиотеке.

Организация научной жизни пыталась следовать довоенной традиции. С тех лет установилось правило: все работы, посылаемые в печать, докладываются на ученом совете. Семинары прежних отделов сохранили свой календарь заседаний.

Вспомнилась смешная примета прошлого. В одном из корпусов на второй этаж вели две симметричные лестницы. Я заметил, что все старые сотрудники УФТИ ходят по левой лестнице. Спросил у одного из них. Он задумался и сказал, что до войны по правой лестнице нельзя было пройти: на площадке стояли какие-то ящики — вот и привыкли ходить по левой.

Я не помню разговоров о разгроме УФТИ, учиненном в 30-х годах. Из рассказов возникала идиллическая картина: маленький институт, активная научная жизнь, дружный, увлеченный коллектив профессионалов. Вспоминались романы: кто в кого был влюблен. Цитировались шуточные стихи на физические темы... После 56-го года, казалось бы, запрет отсутствовал или стал столь слабым, что “тот” период вполне мог быть по крайней мере предметом разговоров. Но должно было пройти несколько десятилетий, чтобы молчание нарушилось.

И вот теперь, в 1998 г., вышла книга «Дело» № УФТИ. 1935—1938».

\* \* \*

Мы многое теперь знаем. Прочли и Солженицына, и Ша-

ламова. Перестрадали за миллионы замученных. Что может добавить рассказ о еще нескольких (из миллионов!) арестованных и даже расстрелянных? Уверен, играет важную роль эффект присутствия.

Мне привелось познакомиться с Евгенией Гинзбург до прочтения ее "Крутого маршрута". Точнее, было так: в узком кругу она прочитала одну главу из своей книги. А потом я прочел ее всю. Факт знакомства с автором многократно усилил впечатление. Из головы не выходило: я ее знаю, это происходило с женщиной, с которой я знаком и которая (это важно!) мне очень понравилась.

Из тех, чьи портреты на обложке «Дела» № УФТИ\*, я встречался с А.И.Лейпунским, хорошо знал И.В.Обреимова, был близок с Л.Д.Ландау. Остальных — Л.В.Шубникова, Л.В.Розенкевича, В.С.Горского, А.С.Вайсберга, К.Б.Вайсельберга и Ф.Хоутерманса — знаю либо по их работам, либо по воспоминаниям хорошо мне знакомых людей.

Читать описание "большого конвейера" — семисуточного непрерывного допроса со сменой следователей — физически почти невозможно.

«— Вы готовы признаться сейчас?»

—Да...

...Произошло это в полночь на седьмые сутки моего конвейера. Я боролся, пока хватило сил, но меня победили. Ничего, кроме капитуляции и признания, мне не оставалось делать\*, — воспринимается с облегчением. (Цитирую главу "Внутренняя тюрьма харьковского ГПУ" из опубликованной на западе книги А.Вайсберга<sup>1</sup>, переведенную и вошедшую в «Дело» № УФТИ.)

После этого текст признаний, дополнительных показаний и очных ставок не вызывает никаких эмоций — кроме острой жалости и несколько болез-

ненного любопытства: кого каким способом "сломали". По-видимому, методы были разные. Например, от Шубникова, предполагают авторы, удалось добиться "признания", воспользовавшись тем, что у него во время следствия родился сын.

Но книга «Дело» № УФТИ\* не ограничивается описанием следствия и его результатов. Этому посвящен последний раздел "Один год из жизни УФТИ в документах и материалах". Перед ним в книге несколько очерков: "Наука и Советская власть в 20—30 годы 20-го столетия", "Физические исследования в Украине в 20-е годы 20-го столетия", "Организация и становление УФТИ (1928—1934)" и, наконец, "УФТИ в 1935—1937 гг.". Эти очерки реалистически изображают жизнь науки (главным образом физики), не скрывая, скажем мягко, противоречивого отношения власти к тем, кто науку делал.

УФТИ занимал очень важное место в советской физике того периода. Это хорошо известно сейчас и было хорошо известно в довоенные годы. Кончая в 1939 г. среднюю школу в Киеве, я знал, что если хочешь стать физиком, то надо поступить в Харьковский университет, он связан с УФТИ, а на Украине настоящая физика — только в УФТИ.

Если бы перечисленные очерки, особенно последний ("УФТИ в 1935—1937 гг."), были написаны так, как полагалось в те времена (перечень достижений, в лучшем случае сопровождающийся сопоставлением с зарубежными работами), то, возможно, мое отношение к прочитанному было бы иным. Конечно, я бы так же остро соперничал знакомым мне людям, арестованным и замученным пытками. Но, пожалуй, не потянуло бы меня записать мысли, возникшие после прочтения книги.

Попробую пояснить.

Жизнь в СССР, особенно в годы террора, демонстрировала раздвоенность социального сознания. Мне хочется этот фено-

мен назвать социальной шизофренией. Один лишь пример — Первомайские демонстрации, в которых большинство из нас участвовало. Бодро маршировали, весело пели, кричали "Ура!", когда с трибун бросали лозунги. Но ведь был и ГУЛag. Что, мы узнали о нем из доклада Хрущева или из солженицынского эпоса? Нет, мы знали. Но я не психиатр и не берусь описывать раздвоенность сознания, тем более, что социальная шизофрения по-разному себя проявляет. Встречались и такие люди, которых совсем не затронула эта болезнь. Только было их очень мало.

Так вот, если бы глава "УФТИ в 1935—1937 гг." не содержала описания реальной жизни Института в те годы, то в сочетании со следующей главой, посвященной так называемому следствию, книга воспринималась бы как еще одно (вполне конкретное) свидетельство социальной шизофрении.

С одной стороны — первое в истории советской науки расщепление атомного ядра; письмо тт. Сталину, Молотову, Орджоникидзе, в "Правду" со словами: «Украинский физико-технический институт в Харькове в результате ударной работы к 15-й годовщине Октября добился первых успехов в разрушении ядра атома. 10 октября высоковольтная бригада разрушила ядро лития; работы продолжаются». Подписи: директор УФТИ Обреимов, секретарь парткома Шепелев, местком — Федоритенко. В заметке, подписанной Обреимовым, указано, кто добился успеха: Синельников, Лейпунский, Вальтер и Латышев. Важнейший цикл теоретических работ Ландау. Среди них — открытие возможности существования антиферромагнетиков и построение феноменологической теории фазовых переходов 2-го рода; создание под руководством Шубникова первой в Союзе и одной из первых в мире криогенной лаборатории, в результате чего "посыпались" открытия. Достаточно

<sup>1</sup> Weissberg A. Conspiracy of Silence. L., 1952.



упоминать обнаружение сверхпроводников 2-го рода.

С другой стороны — материалы следствия с жуткими подробностями.

Среди тех, чьими трудами получены замечательные результаты, трое были арестованы (Обреимов, Лейпунский и Ландау), а Шубников — расстрелян. И в этом не было ничего неприличного. Одна из черт социальной шизофрении: сегодня страна чествует своих героев, а завтра требует их уничтожения как врагов народа.

Меня потрясло то, как реальная борьба мнений и устремлений разных по своему профессиональному уровню сотрудников, разных по пониманию того, что есть фундаментальная наука, по своему представлению о том, чем должен заниматься институт, чтобы быть максимально полезным своей стране, — как именно эта внутриинститутская борьба превратилась в сюжет для допросов. Проблемы, решать которые необходимо на заседаниях ученых советов и научных конференциях, обрастали определениями: контрреволюционная, антисоветская, диверсионная...

Если бы Шубникова обвиняли в том, что он хотел взорвать какой-либо завод или организовать покушение на Сталина, я бы «понял», что происходило. Но его обвиняли в том, что он хотел уничтожить созданную им криогенную лабораторию. «Говорить о его вредительской деятельности в области физики низких температур совершенно абсурдно, учитывая, что он как раз является одним из создателей этой области у нас». Это цитата из письма Ландау военному прокурору, капитану юстиции Капцову от 15 августа 1956 г., когда было возбуждено дело о реабилитации.

В современной режиссуре есть такой прием (не знаю точного термина), когда драму ставят как комедию, а комедию — как трагедию (иногда таким пу-

тем удастся глубже проникнуть в психологию персонажей). «Режиссеры» из НКВД бытовую драму из научной жизни Института превратили в страшную трагедию. С теми же героями, что писали, остроумно защищая свою точку зрения, статьи в стенную газету, вышучивали оппонентов в капустнике и гневно (по-настоящему) обличали на ученых советах и семинарах бездарных коллег, не считаясь с тем, что наживают себе врагов, которые проявят себя не в бытовой драме, а в страшной, со смертельным исходом, трагедии.

Следователи НКВД — опытные режиссеры. Они умели заставить «произносить» то, что им нужно, и так, как им нужно. Читаешь протокол допроса и с ужасом понимаешь, что многое написано или сказано действительно подследственным. Следовательно не мог изобрести подобный текст самостоятельно. Он написан как минимум совместно с допрашиваемым.

Не хочу, чтобы кто-нибудь почувствовал в моих словах осуждение подследственных. Ничего, кроме бесконечной жалости, я к ним не испытываю. Осуждаю только тех, кто ломал их и сломал. Но поражает (скорее, ужасает) неразрывность происходившего в институте и в застенках НКВД. Те же люди в других обстоятельствах. Опять неточность: те же, но сломленные и потому переставшие быть самими собой.

Очень трудно писать на эту тему. Неумение найти нужное слово может обернуться оскорблением памяти сотрудников института, к которым вместе с жалостью по-прежнему испытываю уважение. За то, что они делали и сделали, когда распоряжались собой сами.

В моем сознании — план этих заметок. Несколько тем просятся, чтобы я на них остановился. Наверное, надо ответить (не только себе, но и читателю) на вопрос, заданный вначале. Как вели себя те, кто пережил трагедию разгрома инсти-

тута, кто не был арестован? Некоторые фамилии я упомянул. В книге нет документов, бросающих тень на Синельникова, Вальтера, Слуцкого, Шпетного, хотя в той научно-бытовой драме, которая превратилась в трагедию, они были «на другой стороне».

В «Деле» № УФТИ» есть объяснение Синельникова, написанное 3 июля 1956 г. В то время он — директор ХФТИ. Любопытно, что его «таскали», по-видимому, несколько раз: на письме две даты (3 июля и 12 августа 1956 г.), а подпись «отобравшего указанное объяснение» (ну и язык!) датирована 14 августа того же года.

В объяснении «все правильно»: «Ни о каких контрреволюционных организациях ни ЛФТИ (Ленинградский физтех многократно упоминается в книге), ни в УФТИ я ничего не знаю, не знаю также о причастности Шубникова, Горского и Розенкевича к какой-либо политической или контрреволюционной организации». И дальше: «Они никогда не выступали против сотрудников института, занимавшихся оборонной или прикладной тематикой. В УФТИ в те годы проводились многие дискуссии о направлении работ, было много споров и разногласий об общем направлении научной деятельности института, было много разговоров, что институт работает плохо благодаря наличию большого числа сотрудников, которые в течение ряда лет не дают научной продукции, о необходимости поднимать теоретический уровень сотрудников, о необходимости регулярно проводить «чистку» института от ненужного балласта и т.п., но никогда я не слышал о какой-то «травле».

Пожалуй, Синельников даже несколько притупляет остроту борьбы мнений в годы, предшествовавшие репрессиям. Но ниже (для меня неожиданно) он пишет: «Однако должен заметить, что все дело о контрреволюционной (или шпионской)

организации в УФТИ очень неясно (по крайней мере для меня), так как у нас действительно существовали бесспорные шпионы — Фриц Хоутерманс и Вайсберг, а также непонятная личность Фомин...» Оставим в покое “непонятную личность”. По-видимому, Фомин был душевно больным, “свихнувшимся” либо на шпиономании, либо на страхе перед НКВД (скорее всего в его прошлом было нечто, разоблачения чего он мог бояться).

Хоутерманс и Вайсберг — иностранные специалисты-физики. Их, как и химика К.Вайсельберга, и многих других привлекла романтика социалистического строительства в СССР, в котором они хотели принять активное участие. И принимали. В результате — арест. Вайсельберг был расстрелян, а Хоутерманс и Вайсберг более двух лет провели в советских тюрьмах и наконец были высланы за границу как нежелательные иностранцы. В биографиях Хоутерманса и Вайсберга есть трудные для понимания обстоятельства. Нет возможности на них здесь останавливаться. Сравнительно недавно вышла интересная книга В.Я.Френкеля “Профессор Фридрих Хоутерманс: работы, жизнь, судьба”<sup>2</sup> (СПб., 1997). Очень рекомендую ее тем, кому интересна не только история науки, но и история ее творцов. Биография Хоутерманса увлекательней любого детектива. А Вайсберг сам описал свои приключения в стране большевиков. Его книгу мы уже цитировали.

Вернемся к объяснению Синельникова. Его уверенность, что Хоутерманс и Вайсберг — “бесспорные шпионы”, возможно, имеет своей основой ксенофобию. Но очень странно, если ею был заражен такой человек, как Кирилл Дмитриевич. Он провел некоторое время в Англии, учился у великого Резерфорда.

Женился на англичанке. Возможно, дело в другом. Среди сотрудников УФТИ в мое время шли разговоры (шепотом), что Синельников “очень боится НКВД. Именно потому, что у него жена — англичанка. Более того, будто с использованием ее писем в Англии издана книга, в которой наша жизнь не изображалась сплошным праздником. В результате (повторяю ходившие слухи) Кирилл Дмитриевич ощущал себя “на крючке”. Понять его легко. Быть может, чувство страха толкнуло его на столь “бесспорное” высказывание. Он как бы объяснил, что для действий НКВД имелись определенные основания. Возможно, я несправедлив. Но мои претензии к Синельникову питаются не столько его объяснением (а вдруг он действительно был уверен, что Хоутерманс и Вайсберг — шпионы?!), сколько действиями, непосредственным свидетелем которых я был: например, увольнением из УФТИ Финкельштейна, Цукерника, Цирлина, Дейча, Корсунского. Не могу забыть семью Дейча, жившую какое-то время на лестничной площадке, так как их выбросили (буквально на улицу) из принадлежащей УФТИ квартиры.

Если пристальнее взглянуть в коллекцию “бесспорных шпионов”, то понимаешь: есть малоизученная глава нашей социальной биографии — роль и судьба иностранных специалистов, желавших помочь строительству социализма. Роль, похоже, велика. Судьба — трагична. Достаточно ли полно написана эта глава нашей истории? Думаю, нет.

Среди документов, приведенных в книге, — протоколы свидетелей, привлеченных к “Делу”. Теперь мы хорошо понимаем условность деления на свидетелей и подследственных. Сегодня — свидетель, а завтра — подследственный. Не поднимается рука обвинять тех, кто “свидетельствовал” против арестованных. Но, читая протоколы допросов свидетелей, видишь: люди вели себя по-разному.

Есть пьесы, в которых главный герой (или один из главных героев) не выходит на сцену. Ландау не был непосредственным участником трагического спектакля, поставленного харьковским НКВД. Но почти в каждом из документов, собранных в разделе “Один год из жизни УФТИ...”, он упоминается. Его пытаются сделать главой “контрреволюционной вредительской группы”. “Данная группа возглавлялась Ландау Л.Д.” (с.262). Это — цитата из допроса В.В.Гей 17—18 марта 1937 г. Ландау еще на свободе. Там же сказано: «Ландау Лев Давидович — бывший научный руководитель теоретического отдела УФТИ — ныне сотрудник Института физических проблем при Академии наук в г.Москве». Арестован Ландау был в апреле 1938 г. И как известно, провел в тюрьме один год: Капице удалось добиться его освобождения.

Меня занимает вопрос: почему главой одной из “вредительских групп” пытались сделать Ландау? Что это — своеобразная дань уважения к его способностям физика-теоретика или к его авторитету среди коллег? Скорее, это подтверждение того, что “следствие” — продолжение институтских дискуссий о направлении работ — другими методами, конечно. Ландау был из наиболее активных, значит — глава “контрреволюционной вредительской группы”.

Копаясь в прошлом своих “героев”, энкавэдэшники пытаются обнаружить истоки “антисоветской деятельности” в Ленинграде: многие до УФТИ работали в ЛФТИ. В состав антисоветских групп кооптируются активно работающие крупные советские физики: Я.И.Френкель, П.Л.Капица, Н.Н.Семенов. Френкель упоминается особенно часто. Физически ощущаешь, как тучи сгущались над ним.

Вспоминается кредо правоохранительных органов: “Подозреваемые — все, а подследственные — преступники”. Какая ирония — называть НКВД пра-

<sup>2</sup> См.: Р а н ю к Ю. Н. Тайна Хоутерманса // Природа. 2000. №5. С. 88.

воохранительным органом!

1935-й год открывает «“Дело” № УФТИ» потому, что тогда был арестован Моисей Абрамович Корец. У меня нет желания излагать “Дело Кореца”, как назван один из разделов книги<sup>3</sup>. Но все же — несколько слов. Причина ареста ясна: донос директора (в то время) УФТИ С.А.Давидовича, пытавшегося отвести от себя удар за фактический развал института. Уже в первом (от 17 ноября 1935 г.) постановлении по делу Кореца фигурирует “контрреволюционная группа”, которая “проводит разложеническую работу среди сотрудников УФТИ”. Состав пока нет, хотя Давидович «информировал харьковский НКВД о том, что в институте возник заговор под руководством Л.Д.Ландау и А.Вайсберга для саботажа военных работ». Однако, добавляют авторы книги, арестовать их (Ландау и Вайсберга) НКВД не решился (с.175).

Читая документы, диву даешься, хотя понимаешь, что алогизм — основная черта происходящего. В деле Кореца есть характеристика, подписанная “треугольником” (не забыли этот термин?). Одна вершина треугольника — директор — Лейпунский. Он уже сменил Давидовича, знает, что Корец арестован за выступление против Давидовича, по доносу Давидовича и подписывает документ, в котором «[Корец] был активным участником группы, борьба которой против дирекции и оборонных работ ударяла по выполнению оборонной тематики УФТИ» (с.179). Меньше чем через два года он сам “станет” участником этой группы.

Корец тогда избежал долгого тюремного заключения. За него вступились Ландау, Обреимов, Шубников и др. Моисей Абрамович был арестован вторично 28 апреля 1938 г. В Москве, в тот же

день, что и Ландау. Но Корец отсидел свой срок, как говорят, от звонка до звонка. После возвращения из лагеря и реабилитации работал в журнале “Природа”, где я с ним и познакомился. От знакомства остались приятные воспоминания. Его замечания (я приносил ему свои первые научно-популярные статьи) были всегда интересны и поучительны. О его прошлом мы, по моему, никогда не говорили. Встречал, несомненно, Моисея Абрамовича и в Институте физических проблем — на семинарах. Но помню это смутно.

В “Деле Кореца” приведено письмо Ландау наркомому внутренних дел Украины В.А.Балицкому. Написано оно приблизительно через месяц после ареста Кореца. Обращает на себя внимание деловой и спокойный тон письма. Испытывал ли Ландау страх, когда писал и отправлял письмо? Мне кажется, нет. Похоже, он уверен, что НКВД введен в заблуждение. Разберутся и исправят допущенную ошибку. Он, со своей стороны, готов этому помочь: «Я очень просил бы Вас, если Вы найдете это возможным, предоставить мне случай в личной беседе с Вами поговорить о деле Кореца».

Знакомство с письмом Балицкому еще раз убедило меня в справедливости самооценки Ландау, который корил себя за то, что суть советского режима понял только тогда, когда сам пережил арест<sup>4</sup>.

В книге “Школа Ландау” я рассказал о том, как Ландау пожал руку Л.М.Пятигорскому. Этот неслучайный факт важен, так как в окружении Ландау ходили слухи, что Пятигорский причастен к его аресту. В своей книге я засвидетельствовал, что видел справку КГБ о том, что имя Пятигорского в деле Ландау не значится.

В деле Кореца значится. Есть протокол допроса, датирован-

ный 5 декабря 1935 г. Корец арестован 28 ноября того же года, т.е. допрос происходил через неделю после его ареста. Оперативно работали. Нарастивали темпы. Впереди многосуточные “конвейеры”. И есть “Заявление Пятигорского Л.М.” НКВД УССР. К сожалению, без даты. Очень интересно было бы знать, написано оно до ареста Кореца или после. Оставим ответ на этот вопрос историкам. Меня волнует отношение Пятигорского к Ландау. Похоже, он был предан Ландау. Но предел его преданности точно обозначен:

«Когда я говорил о всем этом с Ландау, он мне заявил: “Что же я травлю коммунистов, что ли?” — Я не мог ему ничего возразить, ибо это означало бы обвинение в антисоветском поступке своего научного руководителя, а в институте парторганизация осторожно подходила к политической характеристике Ландау (выделено мною. — М.К.). Лично я знаю Ландау с 1932 г., с тех пор, как он приехал в УФТИ. Мне все время казалось, что он становится все ближе к партии и к партийным взглядам, но было так только до тех пор, как Корец не начал на него влиять.

В конце я хотел бы отметить, что, по-моему, просто ошибкой назвать творящегося в УФТИ нельзя. <...> В УФТИ склока была только ширмой, методом, который был составной частью более широкой авантюры».

Если к этому добавить, что в процитированном мною отрывке из “Заявления” я пропустил обвинение в адрес практически всех иностранных специалистов, то ясно: “Заявление” — заявка на тот трагический спектакль, который был сыгран в 1937—1938 гг. Предполагать, что “спектакль” будет поставлен, Пятигорский, конечно, не мог.

Еще один эпизод. Практически он не относится к делу. Но вспомнился, когда я читал “Протокол расширенного заседания МК УФТИ от 28.11.35 г.

<sup>3</sup> См. об этом: Р а н ю к Ю. Н. М.А.Корец и Л.Д.Ландау в кольце харьковских спецслужб // Природа. 1995. №12. С.86—92.

<sup>4</sup> См.: К а г а н о в М. И. Школа Ландау. Что я о ней думаю. Троицк, 1998.



совместно с членами СНР, ИТР и актива" (всех собрали!). Второй пункт повестки дня — дело Кореца. Основной докладчик Р.И.Гарбер. Обвинялся Корец в сокрытии социального происхождения, за что и был уволен из института. Из протокола: «Теперь он арестован НКВД. Это доказывает (?) лишний раз, что поведение Кореца не случайно и что его подрывные методы имели, очевидно, более глубокое основание». Арестован — значит виноват, такова логика тех лет. Дальше Гарбер убеждает одуматься тех, кто «до последнего времени считает, что Корец невинно уволен», и призывает (естественно!) повысить бдительность. Гарбер очень серьезен, заключая: «Предложение... принимается единогласно с добавлением об исключении за вредительство». Правда, я не понял, откуда исключают уволенного и арестованного Кореца... И тут мне вспомнился эпизод, о котором я и хочу рассказать. Серьезность изменила Гарберу в начале марта 1953 г., когда вся страна была в официальном трауре: умер Сталин. Гарбер улыбнулся. Не дома в кругу семьи. На кафедре Политехнического института, где тогда преподавал. Улыбка была замечена. И на нее «отреагировали». Во всяком случае об этом стало известно в парторганизации УФТИ (его основного места работы). Только неповоротливость партийных органов и быстрое изменение «политической погоды» спасло Гарбера от серьезных неприятностей.

Грустно. Тяжело на душе. Знание почти всегда приносит страдание. УФТИ в моей жизни оставил светлые воспоминания. Конечно, было не только хорошее. Но хорошего было больше, если позволить себе сравнивать свое хорошее с чужим плохим.

Читая «Дело» № УФТИ, я невольно переносился в 30-е годы. В 37-м мне было 16. Конечно, жил в душе страх. Был ли он доминантой настроения в то время? Ведь нашу семью (родите-

лей) аресты не коснулись. Память услужливо подсовывает трогательные моменты юности: школьные друзья, первые свидания. В 37-м у меня родилась сестра. Жили. И знали. К нам из Харькова в Киев приезжала моя тетка — сестра мамы — в безуспешных попытках получить сведения о судьбе своего арестованного мужа. Как потом (через много лет) выяснилось, он был расстрелян вскоре после ареста (как Шубников, думаю я теперь).

Публикация «Дела» № УФТИ — правильное, хорошее дело. Помнить и знать необходимо.

\* \* \*

*P.S.* Написанное — не рецензия. Я попытался поделиться отрывочными мыслями, пришедшими в голову при знакомстве с «Делом» № УФТИ. Мыслей было больше, чем удалось записать. Одна не давала мне покоя все время, не продумать ее до конца, ответить на возникавшие вопросы не сумел. Поделюсь этой мыслью. Может быть, она покажется кому-нибудь интересной и этот кто-то додумает ее.

Дело УФТИ (без кавычек), судьба института теперь у всех перед глазами. Мы знаем тех, кто институт создавал. Знаем тех, кого судьба не пощадила. И тех, кто пережил катастрофу. Кто всю свою жизнь трудился в стенах УФТИ. Мне интересно, кем были бы пережившие 37-й год, если бы «Дела» не было. Как сложилась бы их судьба? И какова была бы судьба института? Судьбу некоторых, не попавших под энкавэдэшное колесо, я представляю себе. Тех, чья судьба не зависела от освобождения штатных должностей. И судьбу тех, кто вознесся только из-за того, что должности освободились. С ними совсем просто: мы бы их не знали вовсе. А институт? Что было бы с ним? Хочется думать, что был бы он еще лучше, что на его счету были бы великие открытия. Так ли это? ■

## Анатомия

А.Д.Ноздрачев, Е.Л.Поляков, В.П.Лапицкий, Б.С.Осипов, Н.И.Фомичев. АНАТОМИЯ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ. СПб.: Лань, 1999. 320 с. (Анатомия лабораторных животных)

Вышла еще одна книга в серии учебных руководств «Анатомия лабораторных животных».

К беспозвоночным животным относят более 20 типов. Авторы же описали представителей лишь трех типов: кольчатых червей, моллюсков и членистоногих. В выборе руководствовались доступностью объекта, частотой повсеместного использования, характерной выраженностью той или иной системы. Поэтому остановились на пяти видах: пиявка, прудовик, дроздофила, таракан, речной рак.

Для каждого из них дается краткое описание биологии, филогении и систематической принадлежности вида на основании данных микроанатомии, гистологии и даже электронной микроскопии.

В отличие от предыдущих изданий серии, где максимально использовалась латинская терминология, в книге о беспозвоночных приводятся также (в скобках) и русские эквиваленты анатомических терминов. Например: пульвиллы (присоски), прементум (подбородок), скутум (щит). Объясняется это тем, что в описаниях беспозвоночных животных прочно укоренилось использование латинских терминов в русской транскрипции.

Книга не имеет аналогов в отечественной литературе.

## Биохимия

Г.К.Головенко. ДЫХАНИЕ РАСТЕНИЙ: ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ. СПб.: Наука, 1999. 204 с.

Несмотря на то что дыхание — фундаментальный процесс и неотъемлемое свойство всей живой материи, его биоло-

Новые книги



гическое значение для растений было осознано значительно позже, чем для животных. Дыхание растений — процесс окисления органических веществ кислородом воздуха с выделением  $\text{CO}_2$ .

Цель книги — проанализировать результаты исследований по физиологии дыхания за последние 25—30 лет. Считая дыхание основой жизнедеятельности растений, автор рассматривает: функциональные составляющие этого процесса в клетках, тканях и органах; его организацию и регуляцию; влияние внешних и внутренних факторов на показатели дыхания; его связь с эффективностью роста и продуктивностью.

### Микробиология. Медицина

**Р.В.Петров, А.А.Михайлова, Л.А.Фонина, Р.Н.Степаненко.** МИЕЛОПЕПТИДЫ. М.: Наука, 2000. 181 с.

Миелопептиды — группа иммунорегуляторов костного мозга. После расшифровки первичной структуры этих пептидов их удалось синтезировать. Помимо иммунокорректирующего действия миелопептиды обладают и противоопухолевым (в частности, при лейкозах), они оказывают также положительный эффект при бактериальных инфекциях.

В книге собраны и проанализированы результаты экспериментов, проведенных авторами книги. Описаны структура и функции миелопептидов, обсуждаются результаты клинического применения разработанных авторами препаратов миелопептидов. Рассматриваются перспективы создания других лекарств нового поколения на основе синтетических миелопептидов.

### Ихтиология

**Д.С.Павлов, А.И.Лупандин, В.В.Костин.** ПОКАТНАЯ МИГРАЦИЯ РЫБ ЧЕРЕЗ ПЛОТИНЫ ГЭС. М.: Наука, 1999. 255 с.

Миграция животных — один из наиболее сложных, разнообразных и интересных биологических процессов. У рыб миграции весьма различны по своей протяженности, направлению и формам (пассивные и активные). Нерестовые (непродуктивные), кормовые (нагульные) и зимовальные миграции вместе составляют единый миграционный цикл как часть общего жизненного цикла.

Миграции рыб, как правило, тесно связаны с системой течений в области распространения отдельных популяций. При этом передвижение рыб против течения (контрнатантные миграции) обычно чередуются с передвижением вниз по течению (денатантные миграции). У пресноводных рыб такие миграции называются покатыми (downstream migration). В русскоязычной литературе синоним этого термина — скат рыб.

В книге рассматриваются вопросы, связанные с влиянием зарегулирования стока рек на покатную миграцию рыб. Обобщены материалы по 45 водоемам, проведен сравнительный анализ закономерностей (видового и размерного состава покатников, сезонной и суточной динамики их миграций), а также механизмов миграций рыб через плотины ГЭС. Показано, что основным фактором их формирования является экологическая зональность изъятия стока. Развитие гидротехнического строительства привело к зарегулированию стока большинства рыбохозяйственных рек мира. Создание водохранилищ резко изменило

режим течений во внутренних водоемах, нарушив веками сложившиеся условия миграций, в том числе и покатных.

Дан аналитический обзор работ по травмированию рыб при прохождении ГЭС.

### История науки

**В.Е.Борейко.** Дон Кихоты. История. Люди. Заповедники. М.: ЛОГАТА, 1999. 288 с.

*Замечательные люди исчезают у нас, не оставляя по себе следов.*

*Мы ленивы и нелюбопытны.*

А.С.Пушкин

История — это воскрешение. Несколько десятков человек отвоены у беспамьяства. Восстановлены их добры имена. Но сколько еще деятелей заповедного дела и охраны дикой природы остались забытыми! Разве это справедливо?

С 1982 г. в газете “Комсомолец Донбасса” был опубликован первый очерк Владимира Евгеньевича Борейко, посвященный деятелю охраны природы — зоологу, врачу и краеведу Борису Сергеевичу Вальху. Занимаясь его биографией, автор столкнулся со многими природоохранниками, его соратниками В.И.Талиевым, В.Г.Авериним, и др. Круг стал расширяться... Более 10 лет напряженной работы — и в 1995 г. появился двухтомник “Популярный биографо-библиографический словарь-справочник деятелей заповедного дела и охраны природы Украины, царской России и СССР (1860—1960)”. В него вошло 120 персоналий.

О некоторых пионерах охраны природы удалось собрать гораздо больше сведений, чем позволяли скудные строчки словаря. Поэтому автор написал об этих людях более подробно, “вольным стилем”, вложив в очерки душу.

# Живая география России

Н.В.Гоголь изучает  
естественноисторические труды  
П.С.Палласа

А.К.СЫТИН,  
кандидат биологических наук  
Ботанический институт им.В.Л.Комарова РАН  
Санкт-Петербург

«Мы ехали довольно тихо, а он беспрестанно останавливал кучера, выскакивал из тарантаса, бежал через дорогу в поле и срывал какой-нибудь цветок; потом садился, рассказывал мне довольно подробно, какого он класса, рода, какое его лечебное свойство, как называется по-латыни и как у наших крестьян. Окончив трактат о цветке, он втыкал его перед собой за козлами тарантаса и через пять минут бежал опять за другим, объяснял мне его качества, происхождение и ставил на то же место. Таким образом, через час с небольшим образовался у нас в тарантасе целый цветник желтых, лиловых, розовых цветов»<sup>1</sup>, — вспоминал Л.И.Арнольди, чиновник по особым поручениям, сопровождавший летом 1849 г. Николая Васильевича Гоголя (1809—1852) по пути из Москвы в Калугу через Рузу и Малоярославец. Путешествуя, Гоголь не расставался с большим портфелем, в котором лежал черновой вариант второго тома «Мертвых душ».

В Калуге их дружелюбно приняла семья губернатора



Николай Васильевич Гоголь.  
Портрет работы А.Иванова. Масло. 1841 г.

Н.М.Смирнова, супруга которого некогда была приятельницей А.С.Пушкина. В ее автобиографии упоминается, что Гоголь в тот приезд читал «Замечания о путешествии по южным наместничествам Государства Российского», принадлежащие перу знаменитого естествоиспытателя минувшего столетия Петра Симона Палласа (1741—1811), восхищаясь его познаниями в геологии и ботанике.

Обращение Гоголя к трудам Палласа не случайно. Это часть его упорной работы по самообразованию. «На каждом шагу я был останавливаем собственным невежеством. Перечитываю все книги, сколько-нибудь знакомящие с нашей землей, большею частью такие, которых теперь никто не читает. С грустью удостоверяюсь, что прежде, во времена Екатерины, больше было дельных сочинений

<sup>1</sup> Арнольди Л.И. Мое знакомство с Гоголем // Гоголь в воспоминаниях современников. М., 1952. С.479.





Белый стерх.



Рододендрон золотистый. Худож. К.Кнаппе.

о России. При полном незнании земли своей утвердилась у всех гордая уверенность, будто знают ее. А между тем какую бездну нужно прочесть для того только, чтобы узнать, как мало знаешь, и чтобы быть в состоянии путешествовать по России как следует, с желанием знать ее<sup>2</sup>, — пишет он из Москвы 20 октября 1849 г. Об этом свидетельствует конспект Гоголя, хранящийся в Российской государственной библиотеке<sup>3</sup>. Рукопись состоит из четырех тетрадей, сшитых из листов почтовой бумаги. Манускрипт написан красивым ровным почерком без помарок и исправлений. Предполагается, что Гоголь

работал над ним летом и осенью 1849 г.

Чтение Палласа — труд не легкий, но творческий. Погружение в чужой текст будило воображение. Гоголь перелагал тяжеловесные синтаксические конструкции и архаическую лексику первоисточника на живой современный ему язык. Вглядываясь в картины природы, описанные Палласом, Гоголь делает изображение более выпуклым, краски ярче, ритм языка — более упругим. Волшебство слов Гоголя передает живописную панораму географического пространства России — страны, сохраняющей вековые приемы земледелия, самобытные ремесла и промыслы ее различных народов.

Гоголь особенно пристрастен к растениям. Изображения некоторых “явлений их жизни” окрашены неподражаемой

интонацией: «Часто ужасные вихри поднимают со степи цветочную пыль с великого множества лебеды и полыни и наполняют оным весь воздух, так что кажется — стоишь в густом темно-желтом дыме или тумане, пока не пройдет вихрь. Не без страха глядишь на эти явления, когда при ясном дне вдруг помрачится воздух. Густой темный дым отемнит все и в виде облака помчится с ветром за Волгу».

Не ограничиваясь перечислением названий, Гоголь составляет списки растений, произрастающих от Петербурга до Сибири, перечисляет редкие виды. В одном из таких перечней есть целый ряд синонимов местных названий качима метельчатого (*Gypsophila paniculata*) — степного растения перекатипole: «Когда она свежа, ее называют шатром, но как скоро

<sup>2</sup> Переписка Н.В. Гоголя. М., 1988. Т.2. С.256.

<sup>3</sup> Здесь и далее цитируется по: Гоголь Н. В. Путешествие по разным провинциям Российского государства в 1768—1774 гг.: Конспект книги П.С.Палласа // Полн. собр. соч. 1952. Т.9. С.277—414.

осенью подсохнет, то распростертыми ветвями представляет шару подобный куст и быв сломана ветром, катится по полям». Собирая перлы народных названий трав, Гоголь уточняет и своеобразие окраски их цветков. В палласовском описании весенних степей близ Самары его привлёк прострел, иначе называемый сон-травой (*Pulsatilla*): «Одномесячник, который бывает здесь голубой, лазоревый, синий, белый и даже светложелтый. Так как он видим только в апреле, то и называется одномесячник. Нанизав цветы его на очищенную розгу, обыкновенно втыкают в избах для украшения. Из синих цветов, вареных с серпухой и квасцами, выходит превосходная зеленая краска для употребления в живописи». А вот описание тюльпана (*Tulipa gesneriana*): «Настоящий тюльпан появляется в великом множестве на черноземе десятого апреля, украшая собою поля и горы девять дней. Темнокрасные из них — самые ранние, самые большие и самые редкие, розовые чаще, а желтых множество. Ребята, резвящиеся в это время на полях, вырывают из земли их луковицы и едят».

Описательный метод Палласа, с его тонким умением выразить оттенки красок, рождал отзвук в гоголевской словесной живописи. Гоголь любил узнавать свойства растений, их названия, известные в народе, и употребление. Он выписывал из книг Палласа сведения о применении растений в крестьянском обиходе в разных губерниях России. Эта область знания в наше время называется этноботаникой. Она имела многообещающее начало в трудах коллег Палласа — академиков И.И.Лепехина, И.А.Гильденштедта, С.Г.Гмелина, И.Г.Георги. Процветая во всем мире, эта наука не нашла достойного применения

в нашем отечестве. Между тем социальная значимость этноботаники велика. Дорожа народным опытом, Гоголь собирал крупницы травознания в особые реестры — «Арзамасский травник» и «Травник Симбирский».

Менее полны его познания о животных. Вот что сказано о русской выхухоли (*Desmana moschata*), некогда обитавшей на Волге близ Самары: «...зверек, роющий норы в высоких берегах под водою, вырывающий своим чутким хоботком с невероятной скоростью из тины пиявиц, которыми питается вместе с червями. Часто слышно, как щелочут они в воде как утки. Когда дразнят их, пищат по-мышачьи и кусают опасно».

Картина сухой и теплой самарской весны, описанной Палласом в марте 1772 г., изложена Гоголем почти дословно: «Город Самара занимает угол между Волгой и северным устьем Самары. Жители ее имеют пропитанье от скотоводства и великого торгового свежей и соленой рыбой, также и икрой. Видели уже диких лебедей и гусей. Множество уток — на открытых водных местах. Кивики летели. Все водяные птицы показались еще до исхода марта. Сии стадовые птицы летели в северо-западную сторону, напротив того, бабы [т.е. пеликаны. — А.С.], аисты обыкновенные и белые, называемые стерхи, журавли и полевые птицы летят сюда из полуденных стран. <...> Суслики показались во множестве на всех местах, где растаял снег. С цветами явились насекомые, как шмели, так и ройные пчелы собирали себе пищу с цветов одномесячника и вербы. С ними в одно время явились бабочки разных родов. Но ласточки показались только 16 апреля вместе с щурками».

Паллас впервые описал стерха (редчайшую птицу, гнездящуюся только в Сиби-



П.С.Паллас. Гравюра на меди. Мастер Иоганн Конрад Крюгер. 1767 г.

ри). Гоголь посвятил ей следующие строки: «Белые журавли лебединой белизны. Далеко видят, по причине высоты своей (5 футов). Осторожны, осмотрительны. Как бы далеко не завидели человека, поднимают лебединый крик и улетают. Но гнезда свои защищают отважно и отчаянно, кидаются с яростью на собак и детей. Кожа, нос и ноги красные. Иначе называются белые стерхи». Паллас наблюдал стерха между Ишимом и Иртышом (современная Омская обл.).

Мысленно следуя за Палласом, Гоголь углубляется в Восточную Сибирь, где произрастает рододендрон золотистый (*Rhododendron aureum*): «Прекрасное деревцо, растет низкими кустиками, на каменных, мшистых, безлесных косогорах и на пригорках снежных гор. Цветки красивые, светло-желтые, пучком. Листья твердые и толстые, как лавровые. Козаки называют его кашка-



рой. Оно опьяняет, но хмель проходит скоро».

Описание природы Сибири было нужно Гоголю для изображения страны, где по его замыслу, произойдет нравственное перерождение Павла Ивановича Чичикова, отбывшего срок каторги. Известно также, что Гоголь намеревался совершить путешествие по России и написать увлекательное географическое сочинение так, «чтоб была слышна связь человека с той почвой, на которой он родился».

«Нам нужно живое, а не мертвое изображение России, та существенная, говорящая ее география, начертанная сильным, живым слогом, которая поставила бы русского лицом к России еще в то первоначальное время его жизни <...> когда все его способности свежее, а воображение чутко удерживает все, что поражает его». Замысел Гоголя так и не осуществился.

В июне 1850 г. он отправился на Украину вместе с М.А.Максимовичем<sup>4</sup>, профес-

сором ботаники и выдающимся этнографом. Когда Гоголю надоело сидеть в бричке, он предлагал своему спутнику «пройти пехандачка». Во время таких прогулок он собирал растения и записывал их латинские и русские названия, которые сообщал ему Максимович. Эти придорожные гербарии оказались последним даром родной земли Гоголю.

Редкие посетители Гоголя замечали среди его книг старинные сочинения по ботанике. В конце 1851 г. он просит С.П.Шевырева: «Если у тебя книги не далеко уложены, то пришли мне Палласа, все пять томов, с атласом, сим меня много обяжешь. Мне нужно побольше прочесть о Сибири и Северо-Восточной России»<sup>5</sup>. Уже на следующий год, в начале Великого поста, Гоголь сжег свои сочинения. 20 февраля 1852 г. он умер.

Гоголь, которого мы будто бы знали, обращается прежде неведомой стороной. Литературоведы проникают в глубины его творчества в поисках нового истолкования. Сказоч-

ник и потешник, по словам П.А.Вяземского, он прошел путь от веселой бесовщины малороссийских повестей, сквозь масленичный чад Петербурга, до хождений по кругам ада «Мертвых душ», чтобы заточить себя в монастырь покаяния. Гоголь подчинил не только творчество, но и саму жизнь проникновенному постижению таинств христианской литургии. Предполагают, что композиция «Выбранных мест из переписки с друзьями» символически воспроизводит течение Великого поста и завершается прославлением светлого воскресения Христова. За этим событием, как известно, следует череда летних праздников — начиная с Троицына дня, когда украшали молодыми березками храмы и оплакивали грехи. Торжество растительного мира совпадает с празднованием рождения Иоанна Предтечи, что для язычников означает насыщение трав животворной силой солнца.

Гоголь, уподобив свою судьбу круговороту христианского года, уже не имел сил прожить его заново. ■

<sup>4</sup> См.: Вересаев В. Гоголь в жизни // Собр. соч. М., 1990. Т.4. С.383—386.

<sup>5</sup> Там же. С.280.

## ПРИРОДА

Над номером работали  
Ответственный секретарь

Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы

О.О.АСТАХОВА

Л.П.БЕЛЯНОВА

Е.Е.БУШУЕВА

М.Ю.ЗУБРЕВА

Г.В.КОРОТКЕВИЧ

О.Ф.ЛАЗАРЕВА

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

Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка

Д.А.БРАГИН

Адрес редакции:

117810, Москва, ГСП-3

Мароновский пер., 26

Тел.: 238-24-56, 238-25-77

Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 16.05.2000

Формат 60×88 1/8

Бумага типографская №1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,37

Усл. кр.-отт. 67,8 тыс

Уч.-изд. л. 15,1

Заказ 3585

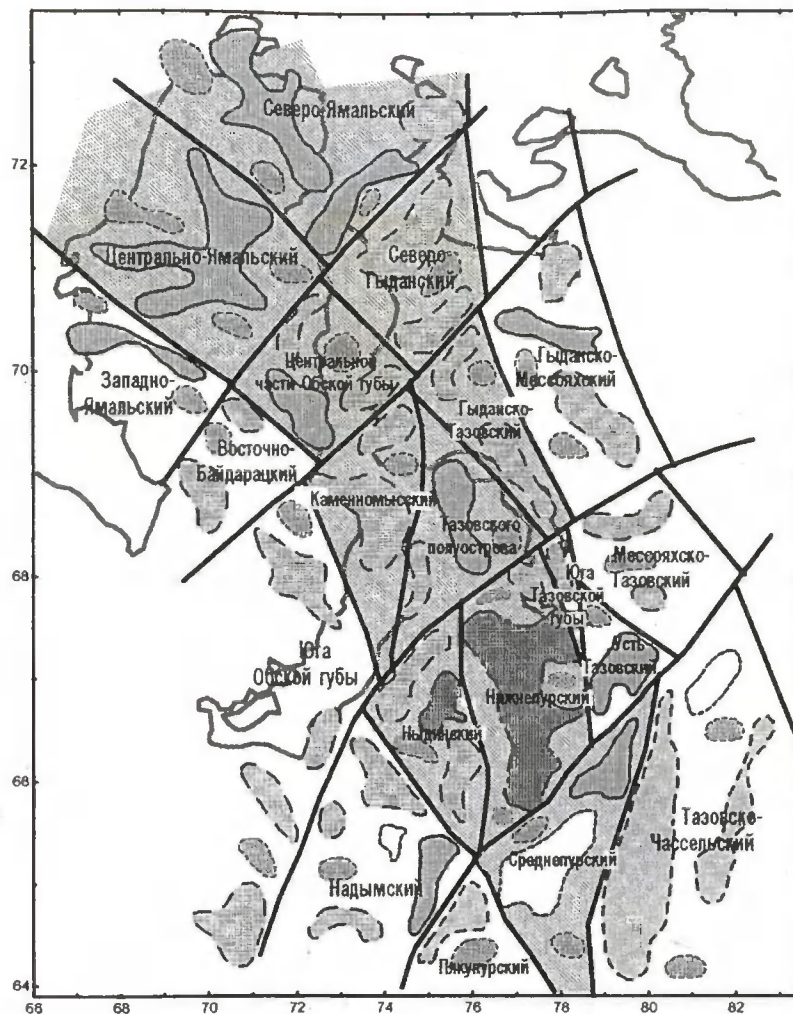
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП

типографии «Наука»

Академиздатцентра «Наука» РАН,

121099, Москва, Шубинский пер., 6



Прогнозные ресурсы нефти и газа в России еще очень велики. Однако основная их часть находится в нетрадиционных резервуарах, которые достаточно трудно искать и разрабатывать. Главное отличие будущих скоплений — их значительно меньшие размеры. Вместе с тем новые месторождения не будут и меньше некоторой оптимальной величины. Так, например, основная часть прогнозных ресурсов заключена в Западной Сибири в залежах с запасами в 10–50 млн т топлива.

Аплонов С.В., Келлер М.Б., Лебедев Б.А. СКОЛЬКО НЕФТИ ОСТАЛОСЬ В РОССИЙСКИХ НЕДРАХ?

