

ISSN 0032-874X

ПРИРОДА

9 '97



Главный редактор академик Л. Д. ФАДДЕЕВ

Заместитель главного редактора Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Академик В. П. АЛЕКСЕЕВ (археология, антропология), академик В. Л. БАКСУКОВ (геохимия, планетология), академик АМН СССР А. И. ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н. Н. ВОРОНЦОВ (биология, охрана природы), доктор геолого-минералогических наук Г. А. ГАБРИЭЛЯНЦ (геология), академик Г. П. ГЕОРГИЕВ (молекулярная биология), член-корреспондент АН СССР С. С. ГЕРШТЕЙН (физика), академик Г. С. ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик И. С. ГРАМБЕРГ (океанология), академик В. А. ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент АН СССР Г. А. ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), член-корреспондент АН СССР В. П. ЗИНЧЕНКО (психология), академик В. Т. ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В. А. КАБАНОВ (общая и техническая химия), доктор физико-математических наук С. П. КАПИЦА (физика), член-корреспондент АН СССР Н. С. КАРДАШЕВ (астрофизика, космические исследования), академик Н. П. ЛАВЕРОВ (геология), член-корреспондент АН СССР В. А. СИДОРЕНКО (энергетика), академик В. Е. СОКОЛОВ (зоология), член-корреспондент АН СССР В. С. СТЕПИН (философия естествознания), член-корреспондент АН СССР В. Н. СТРАХОВ (геофизика), член-корреспондент АН СССР Л. П. ФЕОКТИСТОВ (физика).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И. Н. АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О. О. АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л. П. БЕЛЯНОВА (редактор отдела экологии и химии), член-корреспондент АН СССР Н. А. БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент АН СССР В. Б. БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент АН СССР А. Л. БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А. А. ВЕЛИЧКО (палеогеография), доктор физико-математических наук Л. П. ВИННИК (геофизика), доктор географических наук Н. Ф. ГЛАЗОВСКИЙ (география), доктор физико-математических наук А. А. ГУРШТЕЙН (астрономия, история науки), член-корреспондент АН СССР Г. В. ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), доктор геолого-минералогических наук Л. П. ЗОНЕНШАЙН (геотектоника), М. Ю. ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), член-корреспондент АН СССР С. Г. ИНГЕ-ВЕЧТОМОВ (генетика), доктор физико-математических наук М. И. КАГАНОВ (физика), доктор физико-математических наук Н. П. КАЛАШНИКОВ (физика), доктор физико-математических наук А. А. КОМАР (физика), Л. Д. МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б. М. МЕДНИКОВ (биология), Н. Д. МОРОЗОВА (редактор отдела научной информации), доктор технических наук Д. А. ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент АН СССР И. Д. РЯБЧИКОВ (геология), доктор философских наук Ю. В. САЧКОВ (философия естествознания), доктор биологических наук А. К. СКВОРЦОВ (ботаника), Н. В. УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), доктор биологических наук М. А. ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор физико-математических наук А. М. ЧЕРЕПАЩУК (астрономия, астрофизика), член-корреспондент АН СССР В. Д. ШАФРАНОВ (физика), доктор биологических наук С. Э. ШНОЛЬ (биология, биофизика), доктор геолого-минералогических наук А. А. ЯРОШЕВСКИЙ (геохимия).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Золидин отправляется на охоту за актинией. См. в номере: Рогинская И. С., Келлер Н. Б. Голожаберные против стрекающих.

Фото И. С. Рогинской.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Агrostель с богатым набором злаков, посевная в 1980 г. См. в номере: Дзыбов Д. С. Посеять степь.

Фото И. А. Лещева.



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Им обозначены материалы, которые «Природа» публикует, участвуя в этой программе.



© Издательство «Наука»
журнал «Природа» 1991

В НОМЕРЕ

3 Вольфсон С. А. АКАДЕМИЧЕСКАЯ НАУКА В ТИСКАХ ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА

Поскольку, как показывает мировой опыт, фундаментальная наука развивается за счет отчислений от прибылей, зарабатываемых наукой прикладной, необходимо срочно расширять прикладные исследования, научиться зарабатывать средства, создать такую инфраструктуру, которая бы позволила реализовать научный потенциал страны.

10 Федонкин М. А. БИОСФЕРА: ЧЕТВЕРТОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Сегодня изучение биосферы невозможно без синтеза многих наук. Особая роль при этом отводится историческому подходу, основанному на данных палеонтологии и наук о Земле и помогающему понять место человека в этой глобальной саморегулирующейся системе.

19 Мостепаненко В. М. КВАНТОВАЯ МЕТРОЛОГИЯ

Используя стабильные квантовые эффекты и фундаментальные физические константы, можно добиться рекордных точностей измерений, по-новому решить проблемы их централизации и единства.

31 Песков Е. Г. «ЭФФЕКТ КРОВЛИ», ИЛИ ИЗ ЧЕГО ОБРАЗОВАЛСЯ КАМЕННЫЙ УГОЛЬ?

Никому еще не приходилось наблюдать прогибов наносов, перекрывающих угольные пласты. Между тем они неизбежно должны были изогнуться при уплотнении торфяной залежи. Не означает ли это, что уголь образовался вовсе не из торфа, а из нефти?

Голицын М. В. НЕФТЬ НИ ПРИ ЧЕМ... (33)

35 Матвеев А. В. ДРЕВНЕЕ ЗОЛОТО «60-й ПАРАЛЛЕЛИ»

Археологические исследования последних лет и архивные изыскания позволяют определить район расположения курганов, из которых в XVIII в. добыта знаменитая Сибирская коллекция Петра I, хранящаяся в Эрмитаже.

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

42 Даревский И. С., Пономаренко А. Г., Кузнецов Г. В. ЗООГЕОГРАФИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ОСТРОВОВ ВЬЕТНАМА

Исследование жизни на островах много значило в формировании научной картины мира. Теперь они стали удобной моделью, которая может ускорить понимание процессов, протекающих на «антропогенных островах» — клочках природных ландшафтов, окруженных «океаном» измененных территорий.

КРАСНАЯ КНИГА

49 Мельник В. И. ВОЛЧЬЕГОДНИК БОРОВОЙ — РЕЛИКТ ЕВРОПЕЙСКОЙ ФЛОРЫ

52 Шлезингер А. Е. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА АРКТИКИ

ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ

54 Михеев В. Н. «ВНУТРЕННЯЯ КАРТА» У РЫБ

55 Сорокин В. Н., Конева М. В., Сорокина А. А. НОВАЯ СОРНАЯ РЫБА В ИССЫК-КУЛЕ

59 Дзыбов Д. С. ПОСЕЯТЬ СТЕПЬ

Более полувек специалисты всего мира ищут способ возрождения загубленных хозяйствованием степей, прерий и сходных с ними ландшафтов. В Ставропольском ботаническом саду степь на эродированных землях вырастает за 2—3 года.

64 Рогинская И. С., Келлер Н. Б. ГОЛОЖАБЕРНЫЕ ПРОТИВ СТРЕКАЮЩИХ

71 СУДЬБА КОСМОГЕНИЧЕСКИХ ИДЕЙ О. Ю. ШМИДТА

100-летие О. Ю. Шмидта совпадает с другим, менее явным юбилеем: полвека назад он стал публично излагать свою теорию образования Земли, называвшуюся тогда «метеоритной теорией». И хотя космогонические идеи Шмидта встретили немалое сопротивление, дальнейшее их развитие позволило определить тот сценарий происхождения и эволюции Солнечной системы, который сейчас разрабатывается во всем мире.

Рускол Е. Л., Сафронов В. С. У ИСТОКОВ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗЕМЛИ (72)

Макалкин А. Б., Дорофеева В. А. ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОТОПЛАНЕТНОМ ДИСКЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАНЕТ (79)

Витязев А. В. ОБРАЗОВАНИЕ ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЦА (87)

Азбель И. Я., Толстихин И. Н. ИЗОТОПНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАННЕЙ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ (93)

Левин А. Е. БИТВА БЕЗ ИЗБИЕНИЯ: СОВЕЩАНИЕ ПО ПЛАНЕТНОЙ КОСМОГЕНИИ 1951 ГОДА (99)

108 НОВОСТИ НАУКИ

121 РЕЦЕНЗИИ

124 НОВЫЕ КНИГИ (34)

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

126 Волков В. П., Есакова Е. В. «ОН НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ЗАМЕНЕН НИКЕМ...»

CONTENTS

3 Volfson S. A. ACADEMIC SCIENCE IN THE CLUTCHES OF A FINANCIAL CRISIS

Throughout the world fundamental science exists at the expense of applied sciences. Time has come to rapidly develop the applied sciences in our country and to set up the infrastructure that would allow to realize the country's scientific potential.

10 Fedonkin M. A. BIOSPHERE: THE FOURTH DIMENSION

Today, studies of the biosphere requires a synthesis of many sciences, with historical approach holding a special place among them. Based on palaeontological data and the Earth sciences it helps man realize what his place is in the global self-regulating system.

19 Mostepanenko V. M. QUANTUM METROLOGY

The record accuracy in measurement and a new approach to the problems of their centralization and unity can be achieved by using the stable quantum effects and the fundamental physical constants.

31 Peskov Eu. G. THE "ROOF EFFECT", OR WHAT WAS THE MATERIAL FOR BLACK COAL?

So far no one has been able to detect deflection of the sediments that separate coal layers, though they should have been deflected as peat was becoming denser. Can this be taken to mean that coal originated from oil and not peat?

Golitsyn M. N. OIL HAS NOTHING TO DO WITH IT... (33)

35 Matveev A. V. THE ANCIENT GOLD OF THE 60TH PARALLEL

The recent archaeological discoveries and archival studies allowed archaeologists to determine the burial mounds that in the 18th century yielded the famous Siberian collection of Peter the Great now kept in the Hermitage.

42 NEWS FROM THE EXPEDITIONS Darevsky I. S., Ponomarenko A. G., Kuznetsov G. V. ZOOGEOGRAPHY OF VIETNAM'S COASTAL ISLANDS

Studies of lifestyle on islands have always been important in creating a scientific picture of the world. Today, islands serve as a model to help understand the processes taking place on the "anthropogenic islands" — patches of undisturbed landscapes amid the sea of changed territories.

THE RED BOOK

49 Melnik V. I. ROSE DAPHNE — A RELICT OF EUROPEAN FLORA

52 Shlezinger A. E. A GEOLOGICAL MAP OF THE ARCTIC

54 NOTES, OBSERVATIONS

59 Dzybov D. S. HOW TO SOW THE STEPPE

For more than fifty years now specialists all over the world have been experimenting to find the way to restore the steppes, prairies and similar landscapes damaged by man's economic activity. In the Stavropol botanical gardens the steppe restores in two to three years.

64 Roginskaya I. S., Keller N. B.

71 NUDIBRANCHIA VERSUS CNIDARIA. THE FATE OF OTTO SCHMIDT'S COSMOGONIC IDEAS.

The centenary of Schmidt's birth coincides with another, less obvious date: it was fifty years ago that he first publicly presented his theory of the origin of the Earth. It was christened the "meteorite theory". Although his ideas were at first not welcome their further development allowed to outline the scenario of the Solar system's origins and evolution that is being discussed and developed all over the world.

Ruskol E. L., Safronov V. S. AT THE SOURCES OF THE CONTEMPORARY THEORY OF THE ORIGIN OF THE EARTH (72)

Makalkin A. B., Dorofeyeva V. A. THE TEMPERATURES IN THE PROTOPLANETARY DISK AND THEIR INFLUENCE ON PLANET FORMATION (79)

Vityazev A. V. FORMATION OF THE SOLAR PLANETARY SYSTEM (87)

Azbel I. Ya., Tolstikhin I. N. ISOTOP MODELLING OF THE EARLY EVOLUTION OF THE EARTH (93)

Levin A. E. THE FIGHT WITHOUT DEFEATED: THE 1951 CONFERENCE ON PLANETARY COSMOGONY (99)

108 SCIENCE NEWS

121 BOOK REVIEWS

124 NEW BOOKS (34)

126 MEETING THE FORGOTTEN PAST Volkov V. P., Esakova E. V. "HE IS ERREPLACEABLE..."

Академическая наука в тисках финансового кризиса

С. А. Вольфсон



Станислав Александрович Вольфсон, доктор химических наук, заведующий лабораторией Института химической физики им. Н. Н. Семенова АН СССР. Занимается вопросами технологии синтеза полимерных и композиционных материалов. В качестве эксперта неоднократно участвовал в разработке прогнозов и научно-технических программ развития промышленности синтетических полимеров в СССР и странах СЭВ.

СЛЕДУЕТ с горечью признать, что проблемы развития международного сотрудничества в области научно-технической деятельности мы вынуждены обсуждать в условиях нарастающего финансового кризиса народного хозяйства. К этому добавился резкий спад производственной деятельности. Диагноз поставлен всеми экспертами единодушно: это следствие разрушения старых административных форм управления и хозяйственных связей и слишком медленное рождение новых. Однако методы лечения предлагаются разные. Одни считают, что следует немедленно вернуться к «плановой» экономике, затормозить «деструктивные» процессы, восстановить директивные методы; другие — смелее двигаться вперед к полной ликвидации отжившей системы.

Ситуация никого не оставляет равнодушным, вовлекая в экономические и политические споры всех, независимо от степени информированности и профессиональной подготовки.

Замечательно также извечное противостояние «западников» и «почвенников», известное с петровских времен, а ныне вспыхнувшее с новой силой. И снова одни доказывают, что без привлечения западных специалистов, финансов, технологии и опыта управления нам не выбраться на столбовую дорожку цивилизации, другие, как и прежде, призывают к своеобразно понимаемому патриотизму, клятнут распродажу национальных ресурсов, призывают к самоизоляции, движению по никому не ведомому «особому пути».

Семьдесят с лишним лет назад утопические идеи социального развития вдохновили не только кучку революционеров, но сделались движущей силой для большинства народа. Смогут ли прагматические идеи, лишённые фантастического ореола, обеспечить такой же эффект? А пока мы тяжко расплачиваемся за навязанную нам многолетнюю изоляцию от мирового сообщества.

Всего два года назад академик Л. И. Абалкин был в центре всеобщего внимания как лидер экономической реформы. Демократически настроенная интеллигенция

возлагала на него надежды как на профессионального ученого-экономиста, впервые возглавившего государственную политику экономических преобразований.

И вот случайная встреча в Москве с группой американских экономистов, приехавших ознакомиться с ходом экономической реформы. Они только что встречались с Абалкиным, имели с ним двухчасовую беседу и остались весьма довольны высоким уровнем научной дискуссии. Прерывая их восторженные комментарии, я спросил: какую официальную должность мог бы занять Абалкин в США? Мог ли он стать консультантом президента по экономике?

— Конечно, нет! — последовал дружный ответ.

— А руководителем консультативной фирмы или президентом какого-нибудь, пусть небольшого, банка?

— Нет, это абсолютно исключено!

— Но тогда, что же возможно? — спросил я уже с удивлением.

— Позвольте нам обсудить этот сложный вопрос, — попросили американцы и после бурного обмена мнениями торжественно объявили: он мог бы стать профессором по истории экономики в одном из государственных университетов.

Я не мог скрыть разочарования: «Мы уповаем на то, что наконец-то ученый возглавил экономическую реформу, а вы отводите ему лишь роль профессора по истории экономики! На что же нам надеяться?»

Посерьезневшие американцы принялись объяснять, что наши экономисты при всей их талантливости не владеют современным международным опытом, а следовательно, в лучшем случае являются теоретиками, но отнюдь не практиками.

Прошло не так много времени, а Л. И. Абалкин закончил свою политическую деятельность, оставшись в памяти народной как автор непопулярного «абалкинского налога» на зарплату.

КАКОВА ДОЛЖНА БЫТЬ ЧИСЛЕННОСТЬ НАУКИ?

Как и следовало ожидать, спад производственной активности и расстройство финансовой системы больно ударили по научным учреждениям. Уменьшились поступления из государственного бюджета, сократился (или не увеличился в соответствии с темпами инфляции) объем финансирования союзных и республиканских научных программ, но особенно резко сузился рынок промышленных заказов.

Бюджет АН СССР был сформирован

только в конце апреля, и дефицит по отдельным институтам достигал 30—50 %. Рассматривалась возможность коллективного ухода в отпуск без сохранения содержания на два-три месяца подразделений и целых институтов. Не лучше складывалось положение в высшей школе и прикладных НИИ.

В сей драматический момент возобновился старый спор о том, сколько же людей должно заниматься научной деятельностью в стране с нашим хозяйственным потенциалом: 1—1,5 млн. научных сотрудников, числящихся по статистике, — это много или мало?

Уникален пример бывшей ГДР — образцового социалистического государства, наука которого была построена по нашему образу и подобию. Попав в объятия высокоразвитого западного соседа, восточные немцы, кажется, уже в полной мере ощутили цену, которую им придется заплатить за приобщение к мировой цивилизации.

Прежде всего, оказалось, что вся промышленность (за редким исключением), все сельское хозяйство, бывшие образцом для подражания в соцлагере, неконкурентоспособны. Западногерманские банки и промышленники срочно пересматривают предварительные оценки объемов финансирования и сроков перестройки для восточных земель.

Что же касается восточногерманской науки, ей предложили сократиться в четыре раза, чтобы соответствовать пропорциям, сложившимся на Западе (для сравнения: число занятых на железнодорожном транспорте должно уменьшиться вдвое, чтобы достичь западногерманского стандарта).

Я беседовал с одним из счастливых. Это молодой (ему нет и 40) и талантливый доктор технических наук, сотрудник бывшей Академии наук ГДР, специалист по реологии. По конкурсу он взят инженером в одну из машиностроительных фирм на западе Германии. Ему удивительно повезло, поскольку многие западногерманские машиностроительные фирмы попали в тяжелое финансовое положение из-за неплатежеспособности нашей страны и вынуждены увольнять персонал.

Для нас перспектива четырехкратного сокращения численности научных сотрудников выглядит катастрофической. Ведь исходя из реального положения в промышленности и сельском хозяйстве, можно сделать вывод, что не хватает исследователей и исследовательских центров для перевооружения и перехода на современные технологии (не сможем же мы все купить!).

Структура НИИ большей частью архаична, приборное оснащение ниже всякой кри-

тики. Десятилетиями руководители были заняты «выбиванием» штатов и фондов зарплаты. Исторически мы брали числом, а не умением, благо руки и головы ценились и ценятся у нас невысоко.

ВМЕСТЕ ИЛИ ВРОЗЬ?

И все же значительного сокращения штатов нам не избежать. Для этого даже не нужны законодательные меры. Достаточно сокращения финансирования. Оно ожесточит сердца против пенсионеров, по известным причинам не желающих уходить на пенсию, против «болезненных», чудаковатых, непробивных, находивших в науке, особенно академической, приют от невзгод и относительную свободу.

Но экономический кризис угрожает всем. Как его преодолеть, сохранив специалистов, преемственность и традиции (да еще обновляя оборудование)?

Там, где эти вопросы обсуждаются коллегиально, можно услышать три мнения.

Первое. Пусть решает дирекция! Действительно, от дирекции, наличия в ее составе именитых мужей в большей степени зависит благодействие коллектива. По устоявшейся традиции академики имеют неоспоримо больше шансов получить бюджетные ассигнования, возглавить научный совет, взять в руки распределение средств по госпрограммам. Можно ли представить распорядителя финансов, коллектив которого бы обнищал? Такое бывает только в легендах. Тем более, что проверки эффективности использования государственных средств в науке фактически не существует. На смену одним госпрограммам приходят другие; возглавляют их одни и те же люди, независимо от достигнутых результатов. Может быть, основание новых академий снизит пиетет госчиновников перед сиянием академического звания и усилит конкуренцию? Пока, к сожалению, ничего не меняется.

Второе. Нужно объединяться для создания конкурентоспособных коллективов, готовых эффективно действовать на внешнем и внутреннем рынках. Правда, возникает щекотливый вопрос: кому и с кем объединяться? Ведь часто подходящих партнеров легче найти на стороне, чем в собственном НИИ. Как на это посмотрят руководители институтов? Не получится ли, что некоторые из них превратятся в своеобразных арендодателей персонала, научного и прочего оборудования и площадей?

Третье. Альтернативное второму, когда каждая лаборатория или группа предпочитает действовать по принципу «спасайся, кто мо-

жет!». Кажется, именно это мнение находит наибольшее число сторонников. Но насколько оно обоснованно?

Можно и нужно внимательно изучать западный опыт организации научных центров. Об этом уже много написано: университеты — центры фундаментальных исследований, государственные научно-исследовательские институты, частично или полностью финансируемые промышленностью, исследовательские центры больших и средних фирм, наконец, малые фирмы, специализирующиеся на технологических исследованиях, множество различных консультативных фирм.

Раньше нас больше интересовала организация дел в университетах и крупных научных центрах. Теперь пора изучать деятельность малых предприятий. В Германии меня поразил небольшой исследовательский институт, созданный на паях несколькими фирмами, производящими изделия из резины. Резиновая промышленность переживает сейчас кризис, и руководители нескольких крупных и средних фирм посчитали, что им выгоднее создать такой НИИ сообща, оснастив его современной аппаратурой.

С малой исследовательской фирмой удалось познакомиться и в США. Фактически это опытная установка для синтеза и разделения химических продуктов. Ее годовой оборот — всего 3 млн. долл.; выполняются заказы крупных фирм, которым самим невыгодно строить подобные опытные установки.

Я много повидал опытных установок на наших химических заводах. Везде они тяжким грузом висели на бюджете предприятия. В редких случаях удавалось найти постоянную клиентуру. А в США расходы такой фирмы минимальны, персонал — всего 6 чел., в руководстве трое — директор, президент, вице-президент (директор отвечает за коммерческую политику фирмы, точнее, за контракты и поиски заказчиков, президент — за техническую сторону дела, а вице-президент — за финансы и бухгалтерский учет). Все нужные для выполнения конкретного проекта специалисты — инженеры, лаборанты, экономисты, механики — нанимаются на соответствующий срок. Так выгоднее, чем держать их в штате.

Фирма создана бывшими сотрудниками компании «Шелл». По их словам, каждый инженер, работающий в крупной фирме, мечтает открыть собственное дело, стать независимым. И пробуют, причем 90 % разоряются, но 10 % выживают.

¹ Наука и рыночная экономика (подборка статей) // Природа. 1990. № 12. С. 3—14.

— Что главное для выживания? — спрашиваю президента.

— Личные связи на крупных фирмах, обеспечивающих заказами, высокое качество работы, мобильность.

Подобные фирмы обязательно должны возникнуть у нас, они уже появляются. Проблема в информации, рекламе, посредниках, инфраструктуре. Но, наверное, главное — почувствовать вкус независимости, свободы в организации работы, без вмешательства «вышестоящих» организаций.

ГДЕ ИСКАТЬ ЗАКАЗЫ?

Слушая раньше, что руководители западных фирм, отделов «исследования и развития» непрерывно рыщут по свету в поисках новых идей, тратя на это львиную долю времени, мы недоуменно пожимали плечами. Вращенные Системой, мы еще как-то могли объяснить повышенную активность торговых агентов, всяких там посредников, но ученых? По нашим представлениям, они должны были разъезжать по научным конфе-

«Природа» готова предоставить свои страницы для информации о имеющихся видах научной продукции, новых идеях, о деятельности малых и совместных предприятий.

С предложениями обращаться по адресу:
117810, Москва ГСП-1, Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56.

Еще одна встреча, на этот раз с бывшими сотрудниками фирмы «Дюпон». Пять лет назад они создали консультативную фирму «Консер». По нашим понятиям, это молодые пенсионеры, накопившие огромный опыт в организации научных и коммерческих исследований. Сейчас в фирме 120 сотрудников, она обслуживает не только американский, но и японский, и европейский рынок. Услуги, предлагаемые фирмой, — это разнообразные консультации в области производства полимеров, синтеза, технологии, переработки, применения, анализа качества, маркетинга.

При вступлении в рынок подобные фирмы жизненно необходимы. У нас практически отсутствует независимая экспертиза. А как без нее оценить новые проекты, целесообразность капиталовложений? Раньше экспертиза всегда была ведомственной, о ее независимости можно было только мечтать. Эксперты сами стремились получить «руководящие указания», а строптивых и независимых просто не приглашали.

Сейчас ситуация коренным образом меняется. Ассоциации, кооперативы, совместные и арендные предприятия вкладывают собственные средства, а не обезличенные государственные. Поэтому всем нужна квалифицированная экспертиза, прогнозная оценка, анализ рыночной ситуации, информация о специалистах.

ренциям, коллоквиумам и семинарам, с приятностью беседовать о научных проблемах на фоне архитектурных шедевров и живописных ландшафтов.

Внутри же страны Академия (теперь в это трудно поверить) была лишена права заключать хозяйственные договоры с предприятиями. Можно было только оказывать благотворительную помощь без всякой надежды получить компенсацию законным путем. Замечательно, что в государственном постановлении о научных консультантах (а ими могли быть только доктора наук) не было даже определено, из каких средств предприятие должно их оплачивать. И это в условиях, когда каждый шаг регламентировался инструкциями. При подготовке правилительственного постановления о развитии химической науки несколько лет назад начальнику Отдела химии ЦК КПСС, «отвечающему» и за науку, и за промышленность, был задан вопрос о причинах такой дискриминации. Подумав, он ответил, что если разрешить заниматься хоздоговорами, то будет заброшена фундаментальная наука!

Сразу вспомнились замечательные по стройности и логичности административные построения: в Академии (и только в ней!) специально обученные люди разрабатывают фундаментальные идеи и делают открытия. Плоды их деятельности в плановом порядке спускаются в отраслевые НИИ, где ученые

как бы второго сорта «прикладывают» выдающиеся научные достижения к конкретным технологиям и доводят их до ума. Затем в работу включаются проектные институты, конструкторские организации, а на заводах и фабриках все это реализуется в виде новых производств. Множество людей пенсионного возраста до сих пор вполне искренно удивляются, почему эта стройная система плохо функционировала.

Теперь мы с некоторым удивлением читаем, что на Западе жесткие бюрократические структуры в управлении промышленными предприятиями и наукой были отброшены еще в начале прошлого века, доказав свою неэффективность. Нам же еще только предстоит научиться работать в системе более гибких структур, нацеленных на реальный эффект.

Прежде всего нужно искать заказчика. Но где, как? Расспрашиваем зарубежных коллег из различных университетов. Это очень сложная задача, отвечают они хором. Очень важны личные связи, взаимоотношения с учениками, работающими в промышленности, умение наладить переподготовку работников фирм. На встрече в Ганноверском университете его руководители невольно рассмеялись, когда я попросил их содействия в установлении контактов с германскими фирмами. Они сами мечтают о выгодных заказах. Да и в других университетах, по отзывам друзей, как только речь заходила о связях с фирмами, хозяева замолкали: это секрет, который тщательно оберегают.

На моем рабочем столе осколок былых времен — слезное письмо директора сахарного комбината с Полтавщины на имя президента АН СССР (два года оно пролежало где-то в кабинетах Президиума). Полтавчане горюют, что бесхозно у них пропадает масса соломы, и мечтают создать на ее основе производство мебельных плит. Уверенность в успехе этого мероприятия сочетается в письме с наивной верой во всемогущество Академии, которая поможет с наукой, технологией, оборудованием, финансами и всем остальным. Тут же, как и полагалось еще совсем недавно, ссылки на призывы ЦК КПСС, решения партии и правительства.

Раньше я бы и ответил в традиционном стиле, что Академия такими приземленными, далекими от фундаментальных проблем, вопросами не занимается, а полтавчанам следует обратиться за помощью в соответствующее министерство, вышестоящую организацию, отраслевые институты и т. д. и т. п.

Но за два года ситуация изменилась. Письмо вызвало ажиотаж в нашем коллективе. Нашлись добровольцы, готовые немед-

ленно поехать на место и разузнать, сколько и какого качества солома предлагается, есть ли у завода средства на оплату исследовательских работ, сможет ли он заказать оборудование, купить (достать!) дефицитные полимеры и т. д. Мы готовы даже найти посредников и соисполнителей. Горячие головы предлагают заводу расплачиваться сахаром и уже обдумывают, как организовать его перепродажу.

Вообще, проблема использования отходов, очистки и обезвреживания различных стоков и выбросов, экономии энергии становится, должна становиться все более важной для промышленности. Из-за искусственно заниженной цены на энергоносители вопрос об энергосберегающих технологиях у нас никогда серьезно не стоял. Дополнительные расходы на экономию энергии себя не оправдывали. Никакие призывы и лозунги, не подкрепленные реальными стимулами, не действовали. В результате по энергозатратам на единицу выпускаемой продукции мы намного «опередили» экономически развитые страны. Административными мерами, как показал опыт лимитирования энергии, делу не поможешь.

История наших «богатейших в мире» отходов также поучительна. В рамках планово-административной системы производитель был заинтересован в их наращивании и выбрасывании. Мы это привычно называли бесхозяйственностью, не задумываясь о подлинном смысле этого слова. На Кусковском химзаводе несколько десятилетий выбрасывали и закапывали бракованный полистирол, отвергнутый военпредами. Он не был браком, а просто «не проходил» по нормам приемки. Понадобился закон о кооперативах, чтобы на заводе вспомнили про эти залежи. Мигом наладили «добычу» полезного ископаемого, переработку и продажу потребителям. А сколько таких залежей на просторах нашей родины!

Но не всегда их так просто пустить в дело, чаще требуются изрядные капиталовложения на разработку технологии, оборудование. Так мы снова возвращаемся к вопросу о стимулах. Мировой опыт показывает, что реальная помощь со стороны правительства, местных органов самоуправления должна заключаться в поощрении активных и наказании нерадивых. Налоговая система должна быть гибкой: создавать преимущества тем, кто совершенствует производство, улучшает качество, использует отходы; жестко штрафовать тех, кто применяет устаревшую технологию, загрязняет окружающую среду. При суперцентрализованном руководстве абсолютно невозможно разработать для всех

случаев жизни одинаковую систему поощрений и наказаний. В этом, в частности, один из ее коренных пороков.

Вспоминую, как один из руководителей правительства лет десять назад оценил и горячо поддержал предложенный способ повторного использования отходов резины. (Сотни тысяч тонн этих отходов ежегодно выбрасываются и сжигаются в нашей стране, загрязняя все вокруг.) С одобрением отнеслись к новшеству и руководители нескольких предприятий, ратовавших за дело. Казалось, при столь мощной поддержке новинка будет энергично внедрена в народное хозяйство и даст огромный эффект. Ан нет! Разрабатывая государственное постановление, работники Госплана внесли в него маленькое добавление: предприятие, использующее отходы, автоматически лишается соответствующего количества исходного сырья.

Людам, даже далеким от экономики, но наделенным здравым смыслом, сразу же стало ясно: пропадает основной экономический стимул совершенствовать технологию! Но переубедить бюрократов было нельзя; на все доводы они отвечали, что в стране большой дефицит сырья для производства резины и нужно экономить. Как тут не вспомнить замечательный лозунг «Экономика должна быть экономной».

Сейчас, когда обстановка меняется, появились инновационный и другие независимые банки, ассоциации, все же нужны поощрительные меры государственного характера — субсидии, беспроцентный кредит, налоговые льготы. У нас не разработаны протекционистские меры по поддержке отечественных научных разработок в области технологии, нет никаких преимуществ финансового характера, стимулирующих подобные разработки.

А ведь во всех развитых, да и в большинстве развивающихся стран они есть. Именно в разработке поощрительных мер должны проявиться дальновидность и патриотизм союзного и республиканских правительств, а не в призывах развивать научно-технический прогресс.

Мне могут возразить, что пару лет назад была создана специальная комиссия при Госплане СССР для поддержки крупных изобретений. В нее включили крупных чиновников, перегруженных другими обязанностями, забыв определить источники финансирования, и в результате комиссия благополучно умерла.

ФИРМЕННАЯ ПОЛИТИКА

Всего несколько лет назад известная американская компания «Стандарт ойл»

прислала в Институт химической физики АН СССР своих полномочных представителей для заключения контракта. Заинтересовавшись разработками в области наполненных пластиков, они были готовы их купить.

Обсуждение закончилось тем, что руководитель делегации задал естественный вопрос: «Ваша цена, джентльмены?» — что повергло в смятение советскую делегацию. А была она весьма представительной: помимо дирекции института и непосредственных руководителей проекта присутствовали представители патентной службы института, Отдела внешних сношений Президиума АН СССР, Госплана СССР, ГКНТ, Министерства химической промышленности и другие «компетентные лица». Тем не менее взять на себя ответственность никто не смог, и сделка не состоялась.

Два года назад мы встретились с представителями другой американской фирмы и по другому поводу, но вопрос был задан тот же. Получить консультацию в Лицензионке и Торговой палате не удалось, пришлось соображать самим. Наш руководитель — крупный ученый, заглянув в финансовый отчет этой акционерной компании, решил: «Поскольку они тратят на исследования около 80 млн. долл. в год, думаю, могут выделить нам 1 млн. долл.».

Сумма показалась нам несколько завышенной, и мы попытались рассчитать затраты фирмы на такую работу. Поскольку, обращаясь к нам, компания явно хотела что-то сэкономить, мы поделили полученную величину пополам (по давней и стойкой традиции наших бюрократических структур) и предложили ее гостям. Каково же было удивление, когда американцы назвали сумму, в шесть раз меньшую «расчетной». Впоследствии оказалось, что это средняя величина стоимости научного контракта, предлагаемая американскими фирмами советским партнерам.

Как оценивать наши работы — далеко не праздный вопрос. Обычно нам предлагают суммы гораздо ниже (в четыре — шесть раз), чем за аналогичные исследовательские проекты, заказываемые американским и европейским университетам. Объясняют это незнанием нашего научного и исполнительского уровня, большими накладными расходами и т. п. Спору нет, репутацию на международном рынке нужно завоевывать. Как-то в разговоре с представителями одной крупной фирмы я пошутил, что мы готовы выполнить первый контракт за символическую плату в 1 долл., лишь бы иметь возможность при переговорах с другими компаниями ссылаться на контракт с из-

вестной фирмой (ведь истинная стоимость контракта — всегда величина конфиденциальная). Мне возразили, что низкая стоимость контракта все равно станет известна и никто не будет предлагать международных цен в будущем. Кстати, уже есть примеры явного занижения стоимости контрактов на научные исследования советских специалистов. Одна крупная американская фирма предложила нам несколько контрактов на разработку химических технологий всего по 3 тыс. долл. за каждый. Едва ли они предлагали такие контракты своим университетам. Но нам объяснили, что если перевести доллары в рубли по коммерческому курсу, получится совсем неплохо.

Как бы то ни было, лед тронулся, и первые исследовательские контракты в АН СССР, высшей школе и отраслевых НИИ заключены. Пока их немного и они не делают погоды в финансировании науки, но их нужно всячески лелеять. Очень важно разработать общую стратегию, своевременно обмениваться опытом.

Часто приходится наблюдать, как на переговорах с представителями фирм наши сотрудники спешат поскорее рассказать все, что знают и умеют, даже не выяснив

предварительно, каковы действительные намерения гостей, какими полномочиями они располагают, какие финансовые условия собираются предложить. Полезно обратить внимание и на то, что фирмы всегда представлены менеджерами, т.е. профессионалами, контракты и проекты соглашений разрабатываются юристами. Мы же в заведомо худшем положении, поскольку практически всегда переговоры ведут сами разработчики.

Десятилетия прошли в бесплодных спорах о различии между фундаментальной и прикладной наукой и приоритете первой по отношению ко второй. Теперь очевидно, что в мире фундаментальная наука развивается за счет отчислений от прибыли, которую зарабатывает наука прикладная. Мы всегда гордились тем, что наша фундаментальная наука на высоте. Настало время срочно развить прикладные исследования, научиться зарабатывать, создать соответствующую инфраструктуру, позволяющую реализовать научный потенциал.

А пока, переходя от слов к делу, мы решили создать при Институте химической физики АН СССР консультативную фирму

«ПОЛИКОМ»

для
проведения независимой экспертизы проектов,
производств и технологий,
консультаций в области полимерных технологий,
полимерных и композиционных материалов,
переработки отходов,
защиты окружающей среды,
ведения переговоров и заключения контрактов.

Адрес: 117977, Москва, ул. Косыгина, 4.
Тел. 939-75-60, телефакс 9382156.

ПОЛЬЗУЙТЕСЬ УСЛУГАМИ НАШЕЙ ФИРМЫ!

Биосфера: четвертое измерение

М. А. Федонкин



Михаил Александрович Федонкин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории палеонтологии докембрия Палеонтологического института АН СССР. Область научных интересов — ранняя эволюция органического мира, происхождение основных групп беспозвоночных, палеоихниология. Автор нескольких монографий по палеозоологии и биостратиграфии венда и кембрия. В «Природе» опубликовал статьи: Крупнейшее месторождение докембрийской фауны (1981, № 5); Ископаемые следы (1987, № 8); Загадки вендской фауны (1989, № 8). Член редколлегии журнала «Природа».

В РЯДУ губительных опасностей, подстерегающих человечество, глобальная экологическая катастрофа все явственней выступает на первый план, поэтому в Академии наук СССР разработана Программа биосферных и экологических исследований. Сложность объекта изучения — биосферы — требует мультидисциплинарного подхода и теснейшего взаимодействия специалистов различных областей знания. В идеале структура научных связей должна быть подобна самой биосфере, отражая сложность взаимодействий ее живой и косной составляющих.

Такая попытка была предпринята в рамках блока Программы «Эволюция основных компонентов биосферы». Головной организацией, координирующей исследования в этом направлении, стал Палеонтологический институт (ПИН) АН СССР. Почему вдруг на долю этого скромного по числу научных сотрудников (около 100) учреждения выпала такая роль? Дело в том, что многие важнейшие процессы, протекающие в биосфере сегодня, в принципе невозможно наблюдать из-за флуктуаций природных абиотических и биотических факторов. Продолжительности человеческой жизни и даже существования человечества недостаточно, чтобы подметить устойчивые тенденции в эволюции жизни, биосферные ритмы, экологические кризисы и массовые вымирания, смену фаун и флор во времени и многое другое. Все это было, есть и будет, но мы, участники великого биосферного процесса, не замечаем его. Без данных палеонтологии существование подобных изменений трудно было бы даже заподозрить.

Однако без познания всех процессов, включающих появление биосферы и формирование ее современного облика, невозможно понять ее сущности. Отсюда следует, что без исторического анализа биосферного процесса все иные аспекты его изучения будут неполноценными, а подчас и просто бессмысленными. Стесненные финансовые условия, в которых оказалась отечественная фундаментальная наука, заставляют искать наиболее эффективные способы решения самых актуальных проблем. Для этого Комис-

сия АН СССР по проблемам экологии, ПИН АН СССР и Институт биологии Ростовского университета в 1990 г. впервые организовали совещание по проблемам эволюции ведущих компонентов биосферы с участием палеонтологов, палеоклиматологов, геохимиков, литологов, микробиологов. Цель этой публикации — познакомить широкую аудиторию с основными итогами этого совещания.

В центре внимания стояли вопросы, связанные с изучением самых ранних этапов эволюции биосферы. Казалось бы, зачем знать, какой была биосфера в архее и протерозое, когда сегодня столько бед в нашем общем доме? Но представители разных наук многократно обращались к результатам исследования докембрия, усматривая в тех далеких от нас временах не только истоки многих процессов, характерных для сегодняшней биосферы, но и прямые аналогии между некоторыми явлениями современности и далекого прошлого.

ДОКЕМБРИЙ ВОЗВРАЩАЕТСЯ?

Несмотря на значительные потери геологической и палеонтологической информации, неизбежные для древних отложений, изучение докембрия (570 млн. лет назад и более) дает нам крайне поучительные примеры былых биосферных явлений.

В архее и большей части протерозоя доминировали микробные сообщества. Судя по морфологии микроскопических остатков самих организмов, продуктам их жизнедеятельности (строматолитам), условиям захоронения, это были цианобактерии (синезеленые водоросли).

Ныне эти микроорганизмы обитают в широких температурных и радиационных пределах, легко приспосабливаются к разнообразным химически агрессивным средам и процветают, там, где никто другой существовать не может (гидротермальные источники, концентрированные рассолы пересыхающих озер, ядерные реакторы и полигоны).

Микробиологи и палеонтологи все больше склоняются к тому, что цианобактерии почти не изменились с той поры, когда на Земле появилась жидкая вода. Возможно, их биохимические свойства тогда были значительно шире, однако за 3 млрд. лет они настолько преобразили среду обитания и биосферу в целом, что с появлением новых наиболее сложных организмов с эффективной энергетикой вынуждены были потесниться. За умение изменять среду обычно расплачиваются неумением менять себя.

Поэтому и остались они в основном в средах и ландшафтах, напоминающих далекий докембрий.

Частично подобные условия создаются людьми. Уничтожая высокоорганизованные группы животных и растений, истребляя целые сообщества, мы одновременно возвращаем в биосферу вещества, захороненные в осадочных породах, выведенные из биогеохимического круговорота не без участия бактерий за миллиарды лет. Иными словами, одной рукой человек борется с конкурентами бактерий, другой — активно подкармливает их.

Специалисты располагают вескими основаниями для предположения о том, что в значительной части докембрия на Земле преобладал один тип ландшафта — амфибиальный, в котором мелководные бассейны с бактериальными матами на дне занимали целые континенты. Увидеть такой ландшафт сегодня можно на Сиваше или на каком-либо рукотворном море в пору цветения синезеленых водорослей, где ясно понимаешь, что, кроме них, сюда мало кто вписывается. Там нет места и для нас.

ВСЕМОГУЩИЕ ПРОКАРИОТЫ

Недавно кто-то пересказал мне научно-фантастический рассказ о том, что некий ученый открыл способ мгновенно уничтожить всех бактерий. Он провел опыт, и в тот день умер Бог.

Бактерии действительно всемогущи. Мы лишь начинаем осознавать, что эта «живая пыль» есть основа, фундамент жизни, а все остальные организмы, в том числе и мы, — эпифеномен на прокариотах.

Толерантность бактерий к широкому диапазону условий среды (температуре, солености, кислотности и щелочности и даже к некоторым видам радиоактивного излучения) столь велика, что заслуживает изучения — в том числе и для того, чтобы лучше понять, в каких условиях начиналась и как развивалась жизнь.

Все организмы, способные жить при температуре выше 62 °С, — это прокариоты. Среди них только хемоавтотрофы и хемогетеротрофы выдерживают температуру выше 74 °С. Фотосинтезирующие бактерии не могут нормально функционировать при температуре выше 72—74 °С. Не так давно открыта группа археобактерий, среди которых есть хемолитотрофы, существующие при 110 °С. Но и в холодных пересолённых водах антарктических озер подо льдом успешно развиваются бактерии.

Такая широкая адаптация бактерий к

экстремальным средам связана с их способностями к направленной мутации, а также с латеральным транспортом полезных генов от других бактерий. Прокариоты могут резко снижать скорость обмена, образуя споры, высыхая, уменьшая размеры.

Вероятно, многие основные функции прокариот окончательно сформировались в условиях среды, которые мы предполагаем для архея и части протерозоя. Если это справедливо, то, изучая филогению прокариот, можно как бы восстановить историю формирования среды на Земле. И наоборот, реконструируя биосферы прошлого, мы полнее представим, на что способны бактерии.

Однако трудно надеяться, что восстановить филогению прокариот можно только по палеонтологическим данным. Сегодня в разработку этой проблемы активно включились молекулярные биологи. Сравнительное изучение рибосомальных РНК (16S) современных прокариот показывает, что самые примитивные среди них — это анаэробы-термофилы, чей жизненный цикл связан с серой. Этим признакам лучше всего соответствуют археобактерии, которые обнаружены в горячих источниках на суше и в подводных океанических гидротермах. Не отсюда ли пошла и сама жизнь?

Палеонтология и геохимия докембрия прямо или косвенно определяют возраст биосферы около 3,8 млрд. лет. Таким образом, мысль В. И. Вернадского о том, что биосфера геологически вечна, экспериментально подтверждается. А когда же произошла жизнь? Не будем обсуждать, насколько корректно поставлен вопрос, но, судя по тому, что уже на самых ранних стадиях геологической истории существовала биосфера, вопрос о происхождении жизни, возможно, отодвигается в догеологические времена, в космос¹. Даже весьма скудные остатки микроорганизмов, напоминающих цианобактерий, позволяют утверждать, что 3,8 млрд. лет назад существовали не только эти микроскопические нити и шарики, но и другие группы микроорганизмов, объединенные в сообщества «разделением труда» в биогеохимических циклах. Вне этих циклов любая группа обречена на гибель. Главные причины: истощение ресурсов питания и отравление среды собственными продуктами обмена. Итак, с «самого начала» основой жизни были сообщества.

Судя по данным палеонтологии, царство прокариот достигло разнообразия довольно рано, когда сформировались главные типы обмена веществ. Аэробные микроорганизмы появились, в основном, в течение раннего протерозоя, когда на Земле активно формировалась кислородная среда. Заметим, что время существования богатой кислородом среды занимает всего 15 % геологической истории. Большая часть эволюции прокариот прошла ранее. При этом они демонстрируют потрясающий консерватизм в течение значительного отрезка своей истории. Не этот ли консерватизм послужил залогом эволюционного прогресса более сложных эукариотных организмов, и не поучается ли человек на это состояние?

БИОМАССА: ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИЛИ ПОСТОЯНСТВО

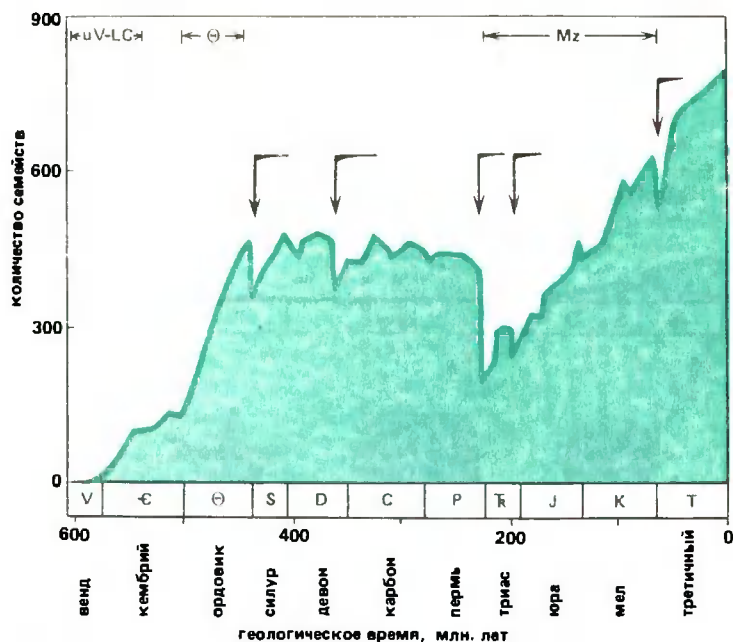
Важнейший аспект изучения биосферы — динамика и распределение биомассы в пространстве. Вернадский полагал, что «масса живого вещества растет в ходе геологического времени, и процесс захвата земной коры живым веществом еще не закончен». Однако ему же принадлежит мысль, на которую часто ссылаются, что масса живого вещества не менялась за время его существования, т. е. суммарная биомасса — своеобразная планетарная константа в масштабах геологического времени.

Последнее предположение оспаривается многими специалистами. Палеонтологи отмечают неизбежный рост биомассы в связи с колонизацией суши, особенно с появлением древесной растительности. Геологи, подсчитывая количество органического вещества, захороненного в древних осадках, пытаются определить биомассу по продуктивности биот прошлого. Различные подходы к этой проблеме дают не только сильно отличающиеся результаты, но демонстрируют прямо противоположные тенденции.

Так, согласно одной из моделей, отражающей динамику среднего содержания органического углерода в осадках за обозримую геологическую историю, общая биологическая продуктивность от архея до мезозоя уменьшалась в пять раз.

Этот шокирующий многих вывод получил основательную и стройную аргументацию. Действительно, докембрий отличался от последующих периодов рядом параметров, способствующих высокой продуктивности биоты (более высокие содержания углекислого газа и средняя температура). Опы-

¹ Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы. М., 1984. (Сер. «Человек и окружающая среда».)



Динамика разнообразия морских скелетных животных на протяжении последних 600 млн. лет. Сверху отмечены длительность главных эпох роста разнообразия (венд — ранний кембрий, ордовик и мезозой). Стрелки указывают пять главных массовых вымираний, а их горизонтальные отрезки — время восстановления былого разнообразия семейств. (По Д. Эрвину, Дж. Валентайну и Дж. Сепкоски, 1987.)

ты с ныне живущими автотрофными микроорганизмами показывают, что современная среда по этим параметрам ниже оптимума.

Еще важнее для биоты, вероятно, был приток необходимых минеральных веществ в водную среду с континентов, который впоследствии также снизился. Смена состава питающих провинций, разрушаемых выветриванием (от основных пород в архее к кислым вулканическим, а затем к осадочным породам позднее), уменьшала поступление в океан метаболитов, особенно фосфора. Как же при этом менялась продуктивность биоты?

Ответить оказалось сложнее, чем думать, из-за множества биологических и геологических процессов, кардинально меняющих картину и делающих ее подчас непредсказуемой.

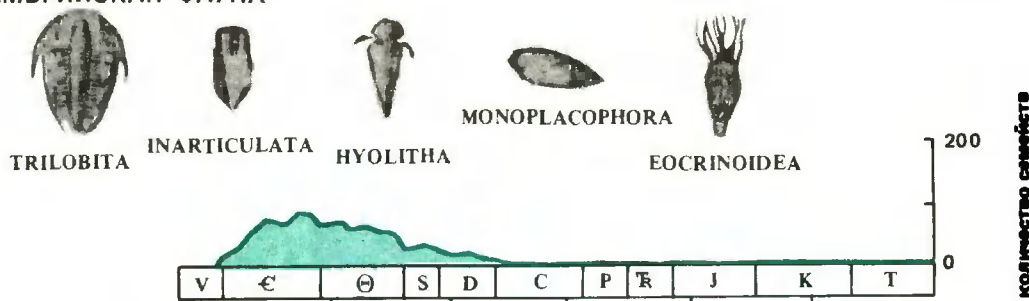
Дело в том, что разные группы организмов извлекают вещества из окружающей среды с большим или меньшим успехом и, соответственно, имеют разную продуктивность. С ростом разнообразия и усложнением пищевых цепей потери органического вещества и энергии, выраженные в количестве захороненного органического углерода, должны были неуклонно снижаться. Другим немаловажным обстоятельством, уменьшающим содержание органического углерода в осадочных породах, могло стать увеличение скорости накопления осадков со временем. Так что даже при постоянных биомассе и продуктивности биоты количест-

во захороненного углерода должно было заметно снижаться. Этому же способствовали рост содержания свободного кислорода в атмосфере, усиление деятельности бентоса, обеспечивающие аэрацию осадка и окисление органического вещества, а также появление плотной растительности на суше, которая препятствовала размыву и выносу органики с континентов в океан.

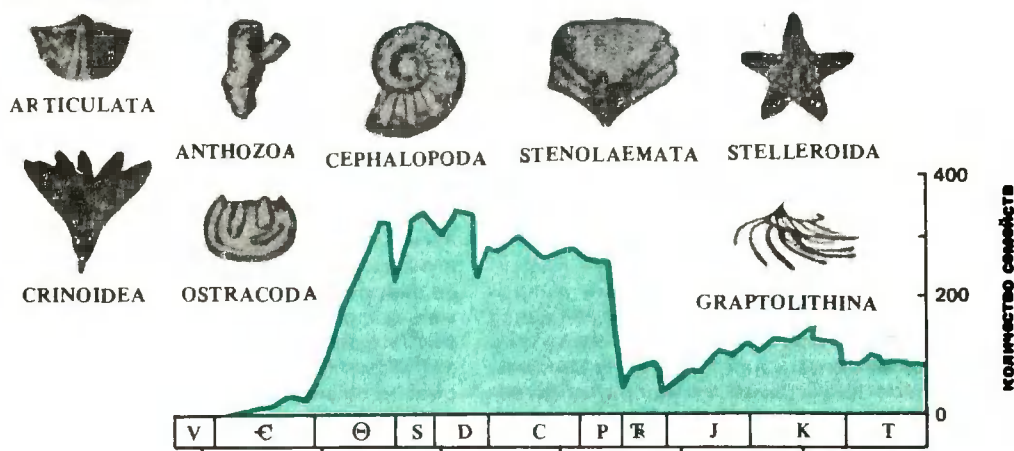
Построение количественных моделей продуктивности биоты далекого прошлого затрудняется и тем, что в океанах до дна доходит лишь малая доля (проценты) органического вещества — остальное выедается и разлагается на верхних этажах пелагиали. Около 30 % захороненной органики теряется под влиянием микробиологической деятельности и до 60 % — в процессе последующих изменений осадочных пород. Количество органического вещества зависит также от аэрации придонных вод и активности деструкторов. Все это резко снижает достоверность оценок биомассы и продуктивности былых биот по измерениям захороненного углерода.

Возможно, более четкую картину может дать изотопный анализ углерода и других элементов, активно вовлекаемых в биогеохимические циклы. Живые организмы, «предпочитающие» легкие изотопы, способствуют сепарации изотопов в биосфере, так что флуктуации изотопного состава захороненного углерода, серы и других элементов могут рассказать многое об ее истории.

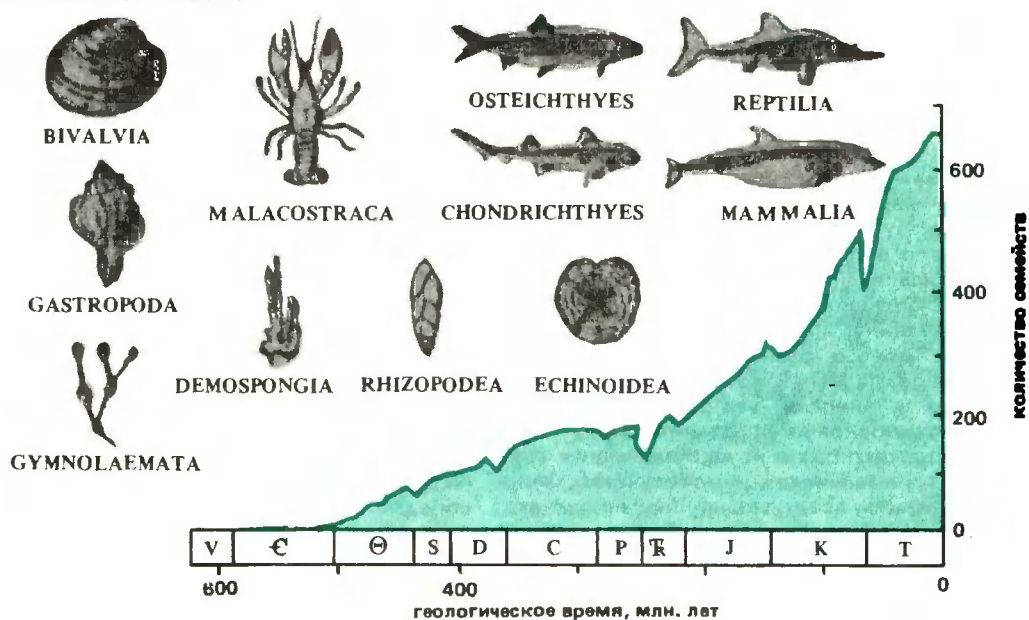
КЕМБРИЙСКАЯ ФАУНА



ПАЛЕОЗОЙСКАЯ ФАУНА

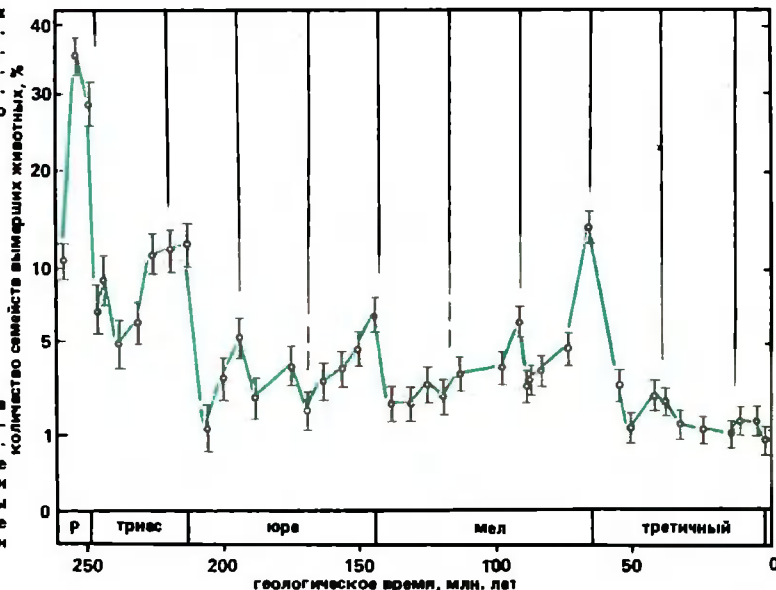


СОВРЕМЕННАЯ ФАУНА



История разнообразия трех главных фаун по данным изучения морских ископаемых животных. Представители основных классов животных из фаун показаны над соответствующими кривыми. (По Дж. Сепкоски, 1984.)

Динамика вымирания семейств морских животных (конец перми — настоящее время). Вертикальные отрезки — возможные ошибки в подсчетах; цветными прямыми отмечены периоды массовых вымираний через каждые 26,2 млн. лет. (По Д. Раупу и Дж. Сепкоски, 1985.)



РИТМЫ БИОСФЕРЫ

К непосредственно не наблюдаемым природным явлениям относятся так называемые биосферные ритмы — сложнейшие процессы, о которых можно судить лишь по ритмичности строения древних толщ и по геохимическим сигналам из прошлого, повторяющимся с определенной периодичностью в геологической летописи.

Если рассматривать не только структуру, но и динамику биосферы, то осадочные горные породы — это следы былых биосфер, побочный продукт активного взаимодействия живого и косного вещества. В последние годы популярной стала теория Геи, описывающая биосферу как единый суперорганизм с развитым гомеостазом, который регулирует свое состояние по многим параметрам, что делает его относительно независимым от флуктуаций внешних (космических) и геологических факторов. Слоистая оболочка Земли — стратисфера (так и хочется сравнить ее с жемчужиной, секретированной моллюском) хранит уникальную запись «поведения» этого суперорганизма, эндогенных процессов и событий в ближайшем космосе, прежде всего в Солнечной системе.

Сопоставление палеонтологической и геологической летописей показало, что по меньшей мере 2 млрд. лет организмы контролируют климат на Земле, поддерживая глобальную температуру в относительно узких пределах, несмотря на постоянное уси-

ление теплового излучения Солнца. Этот парадокс объясняется интенсификацией захоронения углерода живыми организмами и совершенствованием биологического круговорота фосфора. Изучение подобных моделей, в частности выяснение роли прокариотных и эвкариотных экосистем в газовом балансе Земли, позволит четче прогнозировать глобальные климатические изменения.

Относительное постоянство глобальной среды жизни поражает еще и потому, что биосфера неоднократно испытывала разнообразные периодические влияния. Наиболее долгопериодные из них связаны с движением Солнечной системы вокруг центра Галактики и возникающими при этом возмущениями в виде периодических изменений скорости планет. Это, в свою очередь, ведет к периодически повторяющимся эпохам активного горообразования, рифтогенеза, вулканизма на Земле. Тектонические движения глобального масштаба влияют и на уровень Мирового океана. Кардинальные изменения абиогенных компонентов биосферы неизбежно влекут за собой отклик живого вещества (изменения биологической продуктивности, смещения биогеохимических циклов), что, в свою очередь, влияет на литогенез и климат.

Все эти разнообразные явления связаны прямо или опосредованно, и их взаимозависимость часто нелинейна. Глобальные результаты повторяющихся эпох активных тектонических движений и соответствующих реакций живого вещества выражают био-

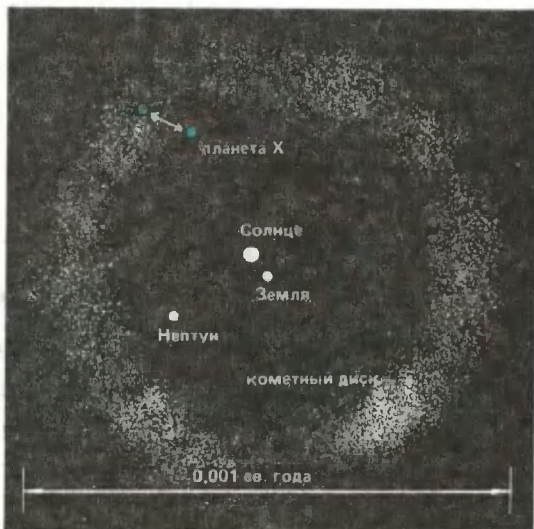
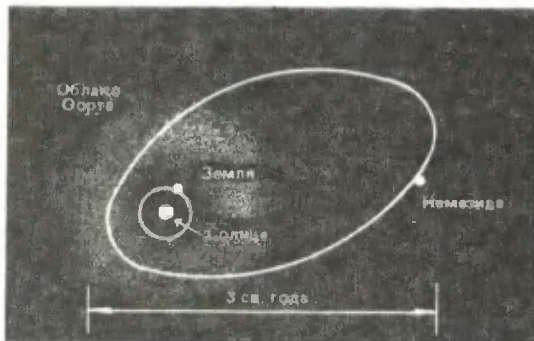
сферные ритмы. Расшифровка процессов имеет большое прогностическое значение. Установлено, что биосфера однотипно, как бы «рефлекторно» реагирует на тектоническую активность изменением геохимических свойств среды осадкообразования. Это проявляется, в частности, в чередовании эпох накопления углеродистых толщ, карбонатных осадков и солей. Образование солей в первом биосферном ритме совпадает с началом накопления углеродистых толщ в следующем. Каждый такой ритм, продолжительность которого около 180 млн. лет, состоит из более коротких ритмов второго и третьего порядка (соответственно 90 и 22 млн. лет), которым отвечают значительные изменения климата и уровня Мирового океана, например потепления и трансгрессии².

В основе модели биосферных ритмов — корреляции седиментационных циклов, относящихся к разным геологическим временам по сходным фазам осадконакопления в фанерозое, на который приходятся последние 15 % геологической истории. Пока не вполне ясно, как менялись ритмика и геохимия биосферных реакций в докембрии по мере усложнения структуры органического мира на фоне тектонической эволюции планеты. Если с ростом разнообразия живых организмов совершенствовался гомеостаз биосферы, можно допустить, что на ранних этапах эволюции саморегуляция биосферы имела иной, возможно не циклический, характер. Что касается современного состояния биосферы, то чрезвычайно важно знать, в какой фазе того или иного ритма мы сейчас находимся.

СМЕРТЬ ПРИХОДИТ ИЗ КОСМОСА?

Массовые вымирания в истории органического мира Земли давно волнуют палеонтологов, однако лишь недавно удалось количественно оценить масштаб этих загадочных явлений. В основе оценки — анализ распределения во времени более 3500 семейств морских организмов, из которых более чем 2500 семейств навсегда исчезли с лица Земли. Предпочтение морским организмам отдано потому, что геологическая летопись океана несравнимо полнее летописи суши, которая постоянно размывается.

Эта работа принесла неожиданный результат — крупнейшие вымирания происходили с определенной периодичностью, осо-



Три основные астрономические гипотезы, объясняющие периодичность массовых измерений: вверху — предполагаемая орбита Немезиды, проходящей через Облако Оорта каждые 26 млн. лет; в середине — положение гипотетической планеты X, которая периодически меняет свою орбиту, направляя кометный дождь в центральные части Солнечной системы; внизу — прохождение Солнечной системы каждые 31—33 млн. лет через плоскость Галактики, где сконцентрированы облака космической пыли и газа, масса которых столь велика, что вызывает возмущения орбит комет в Облаке Оорта.

² Малиновский Ю. М. Синфазная стратиграфия фанерозоя. М., 1982.

бенно заметной в течение последних 250 млн. лет. Более детальный анализ палеонтологических данных из этого интервала геологической истории с учетом времени существования 11 800 родов, из которых 9250 родов вымерли, выявил девять массовых вымираний. Их пики приходятся на 11, 38, 65, 91, 115, 144, 194, 219 и 248 млн. лет назад. Таким образом, примерно через каждые 25—30 млн. лет органический мир Земли потрясали крупные катастрофы. Отклонения от строгой периодичности, возможно, связаны с нелинейным характером реакции биосферы на первичные воздействия. Не исключено, что одно массовое вымирание (между 144 и 194 млн. лет назад) не «состоялось».

Причину этой периодичности ищут прежде всего в космосе, где весьма распространены циклические процессы. Наиболее широко обсуждается гипотеза Немезиды — невидимой звезды, названной так в честь древнегреческой богини возмездия. Будучи компаньоном Солнца, Немезида каждые 26 млн. лет проходит вблизи Солнечной системы, вырывая силой гравитационного притяжения кометное вещество из Облака Оорта. Бомбардируя Землю, кометы поднимали огромные массы пыли, газа, водяного пара, а также дыма и пепла от гигантских пожаров и вулканических извержений. Непрозрачная атмосфера долгое время поглощала солнечный свет, что приводило к похолоданию и гибели организмов, зависящих от фотосинтеза или поедающих растения, а за ними — и других, расположенных далее по трофическим цепям.

Системы из двух звезд-компаньонов, вращающихся вокруг общего центра, широко распространены в пределах Галактики. Однако пока нет прямых данных о том, что Солнце имеет компаньона. Никто не наблюдал Облако Оорта³. Гибель динозавров и другие массовые вымирания в результате ударных воздействий космических объектов — пока не более чем гипотеза, активно проверяемая на ископаемом материале. Дебатируется даже положение о периодичности вымираний. Тем временем палеонтологи все чаще обращаются к поискам внутренних причин великих вымираний, чтобы разобраться в особенностях самой биосферы⁴.

ДИАГНОСТИКА КРИЗИСОВ

Можем ли мы своевременно распознать грядущий экологический кризис? Какие симптомы укажут нам на приближение необратимой катастрофы? Ответы на эти вопросы палеонтологи ищут в прошлом.

В основе современной экологии — представления о равновесиях в природе, балансах вещества и энергии, придающие биосфере некоторую статичность. Однако вся история жизни на Земле, особенно в наиболее изученном фанерозое, свидетельствует и о другом. Лик планеты беспрерывно менялся вместе с живыми организмами. Эпохи бурного видообразования и широкой экспансии животных и растений чередовались с периодами массовых вымираний, сокращения ареалов, изоляции. Неизбежно и многократно сменялись морские и наземные ландшафты! Похоже, что катастрофы и кризисы, вымирания и смена сообществ — нормальное, обыденное состояние биосферы, необходимая и существенная особенность ее развития. Кризисы в истории Земли сопровождались массовыми вымираниями в течение геосторически коротких интервалов времени. Крупнейшие из них приходятся на завершающие стадии биосферных перестроек⁵.

Палеонтологи научились не только распознавать кризисы, но и исследовать их фазы, в частности вход в кризисное состояние (от первых симптомов до кульминации), фазу максимальной деструкции биоты, иногда называемую порогом или «эволюционным окном», и фазу выхода экосистемы из кризиса, т. е. реабилитацию обновленной биоты до устойчивого состояния⁶.

В каком-то отношении биосферные кризисы можно рассматривать и как благо, например, по аналогии с индивидуальной смертью. В обоих случаях отсекаются носители консервативной информации, сдерживающие развитие. Известны разнообраз-

ski J. J. // *Paleobiology*. 1984. V. 10(2). P. 246—267; Sepkoski J. J. Some implications of mass extinction for the evolution of complex life // *The search for Extraterrestrial life: recent developments* / Ed. Papagianis M. D. IAU, 1985. P. 223—232.

³ Алексеев А. С. Глобальные биотические кризисы и массовые вымирания в фанерозойской истории Земли // *Биотические события на основных рубежах фанерозоя*. М., 1989; Татаринов Л. П. Очерки по теории эволюции. М., 1987. (Сер. «Академические чтения».)

⁶ Родендорф Б. Б., Жерихин В. В. Палеонтология и охрана природы // *Природа*. 1974. № 5. С. 82—91; Расницын А. П. История палеозоологии и история насекомых // *Природа*. 1990. № 6. С. 66—80.

³ Подробнее см.: Марочник Я. С., Усиков Д. А., Долгополова Е. И. Облако Оорта // *Природа*. 1987. № 12. С. 36—45.

⁴ Raup D. M. The Nemesis affairs. N. J.—L., 1987; Edwin D. H., Valentine J. M., Sepkoski J. J. // *Evolution*. 1987. V. 41(6). P. 1177—1186; Sepko-

ные «сценарии» гибели популяций и даже индивидов, однако развитие кризисов на более высоких уровнях остается пока загадкой. Палеонтологи больше, чем кто-либо другой, могут внести ясность в эту проблему.

Важнейший критерий устойчивости экосистем геологического прошлого — их биологическое разнообразие, способствующее формированию компенсаторных и регуляторных механизмов, которые позволяют говорить о биосферном гомеостазе. История органического мира дает нам примеры и резкого роста разнообразия, и его значительного сокращения.

Так, на примере изучения наземных тетрапод предложена модель сопряженной эволюции сообществ и входящих в них таксонов. В ранней и средней юре разнообразие тетрапод быстро снижалось, что можно считать симптомом экологического кризиса, наступившего, видимо, из-за роста специализации, ведущей в «эволюционный тупик»⁷.

Преодоление кризиса происходило крайне неравномерно из-за сложных взаимодействий наиболее специализированных и неспециализированных форм при низком разнообразии биоты. Восстановление древних экосистем после экологических кризисов занимало много времени, так что человечеству, похоже, все активнее придется вмешиваться в «лечение» природы.

Изучение кризиса юрских тетрапод привело к представлению о синдроме кризисной ситуации из 14 симптомов. Возможно, число их зависит от типа биоценоза, длительности кризиса или его фазы, но важно другое. Палеонтологи, исследуя реальные события прошлого, в состоянии предложить прогнозные модели. Эта задача обычно связана с переработкой огромного объема данных систематики, стратиграфии, палеогеографии, тафономии и других наук о прошлом биосферы. Повысить эффективность таких исследований помогут компьютеры.

Анализ биологического разнообразия в прошлом отнюдь не сводится просто к подсчету видов в разных слоях древних толщ. Учет числа вымерших и появившихся групп,

относительной скорости их вымирания и появления, их экологической специализации, представительности палеонтологической и геологической летописи, палеогеографической обстановки и других данных, необходимый для получения объективной и всесторонней информации и снижения зависимости моделей от методики сбора и обработки данных, резко усложняет работу. Впереди — попытки увязать динамику массовых вымираний с перестройками морских и наземных экосистем.

«Не был, был, никогда не будет» — высечено на одном из древних надгробных камней. Но не такова ли судьба и всех видов, включая *Homo sapiens*? И если это принять, то где мы на этом пути?

Биосфера существовала без нас почти 4 млрд. лет. В этой невообразимой длительности история человечества — лишь мгновение, в течение которого даже совокупным, соборным сознанием невозможно уловить сущность эволюции биосферы. Лишь

прочтение каменной книги — геологической и палеонтологической летописи — раскрывает многие аспекты развития и функционирования этой сложнейшей глобальной саморегулирующейся системы, так напоминающей живой организм.

Новое биологическое мышление, которое формируется сейчас в палеонтологии и биологии, основано на представлениях о живом, существующем во взаимодействии и взаимозависимости с косным веществом — как единое целое.

Реализация этого подхода, у истоков которого стоят наши великие соотечественники В. И. Вернадский, С. Н. Виноградский и А. Л. Чижевский, возможна лишь посредством синтеза достижений многих наук. Необходимой частью этого синтеза становится историзм, основанный на данных палеонтологии, палеоклиматологии и науках о Земле. Только он привносит в модель биосферы «стрелу времени», помогая понять место человека в этом процессе, понять, «кто мы, откуда, куда идем». Лишь взгляд в прошлое может сделать нас осммотрительными и мудрыми, чтобы, познавая биосферу, мы учились у нее во имя будущего.

⁷ Каландадзе Н. Н., Раутиан А. С. Место центральной Азии в зоогеографической истории мезозоя // Ископаемые рептилии Монголии. Тр. Совместной советско-монгольской палеонтологической экспедиции. Вып. 24. М., 1983.

Квантовая метрология

В. М. Мостепаненко



Владимир Михайлович Мостепаненко, доктор физико-математических наук, профессор Ленинградского технологического института им. Ленсовета, ведущий научный сотрудник лаборатории метрологического обеспечения и стандартизации АН СССР. Область научных интересов — квантовая электродинамика, теория гравитации, квантовая метрология. Автор ряда монографий и статей в «Природе».

РАЗЛИЧНЫЕ измерения широко использовались в повседневной жизни уже при зарождении человеческой цивилизации. Еще пять тысячелетий назад жители древнего Шумера умели измерять длину, площадь и объем. Они определяли, сколько раз стандартная мера, принятая за единицу, укладывается в измеряемом предмете. И хотя размеры единиц, а также численное представление результатов измерений существенно отличались от наших (шумеры пользовались не только десятичной, но и шестидесятиричной системой счисления), сама суть процедуры измерения понималась ими вполне современно.

Особо важную роль приобрели измерения в Новое время, когда после трудов Френсиса Бэкона и Галилео Галилея началось триумфальное развитие точного естествознания. «Самое лучшее из всех доказательств есть опыт, если только он коренится в эксперименте», — писал Бэкон¹. Под измерением в науке стали понимать процесс нахождения в ходе наблюдения или эксперимента числового значения величины, характеризующей изучаемый объект или явление. Поскольку только работая с числовыми величинами можно сформулировать эмпирические закономерности, а затем и построить научную теорию, измерения оказываются краеугольным камнем всего научного познания. Именно в этом смысле и следует понимать крылатые слова Д. И. Менделеева «Наука начинается здесь, как и везде, с тех пор, как начинают измерять; точная наука немыслима без меры»². (Хотя у шумеров науки, разумеется, не было.)

Наука об измерениях — так расшифровывается слово «метрология», происшедшее от греч. *métron* — мера, *lógos* — учение. Ее основная задача — дать возможность измерить все используемые учеными и практиками величины с требуемой точностью.

¹ Бэкон Ф. Новый Органон // Соч. Т. 2. М., 1978. С. 34.

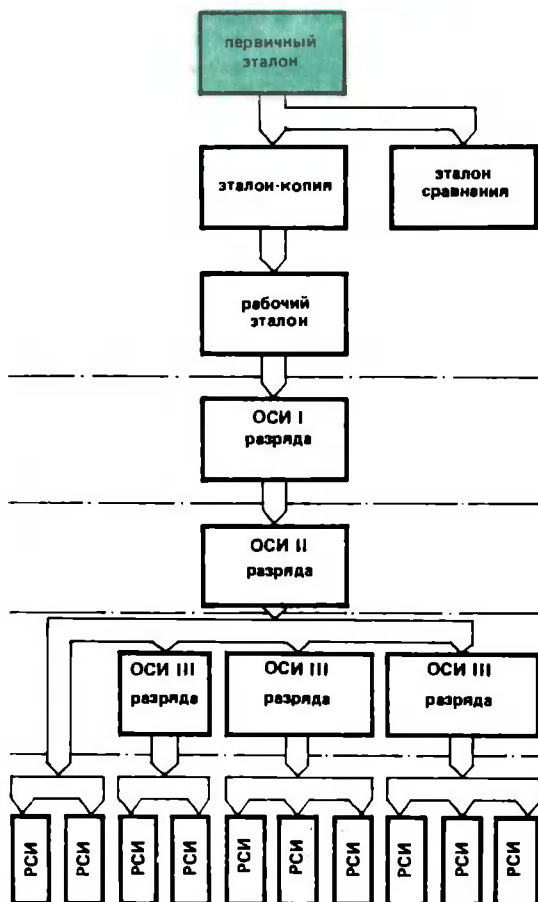
² Менделеев Д. И. Предисловие к книге Мона «Метеорология или учение о погоде» // Соч. Т. 7. Л.—М., 1946. С. 210.

Для этого необходимо создать систему эталонов, т. е. исходных средств измерений, обеспечивающих воспроизведение, хранение и передачу размера единиц физических величин другим средствам измерений. При этом различные величины могут иметь свои эталоны независимо от того, является ли данная величина основной или выражается через другие величины. В Международной системе единиц (СИ) эталонами основных единиц являются эталоны метра, секунды, килограмма и ампера (остальные единицы, например единица силы света кандела, причисляемые в СИ к основным, строго говоря, избыточны), а эталонами вспомогательных — эталоны вольт, ома, ньютона и др. Эталон не обязательно воспроизводит размер именно одной единицы данной величины, а может воспроизводить ее строго фиксированную долю или кратное, что уже обеспечивает возможность проведения всех измерений в принятых единицах.

Измерения одной и той же физической величины, производимые в разных местах и в разные моменты времени, должны согласовываться между собой. Это так называемое «требование единства измерений». Действительно, любая научная и практическая деятельность стала бы невозможной, если бы, например, сантиметровой выступ детали, изготовленной в Нью-Йорке, не совпадал с сантиметровой выемкой парной детали, изготовленной год спустя в Москве. В идеале мы удовлетворим требованию единства измерений, если будем производить все измерения данной величины с помощью одного и того же неизменного во времени эталона. Этот способ, однако, практически нереализуем, поскольку невозможно ездить в место расположения эталона всякий раз, когда требуется произвести измерение (или, наоборот, перевезти эталон).

На практике требованию единства измерений удовлетворяют с помощью создания иерархических поверочных схем. Во главе такой схемы обычно стоит первичный эталон. От него размер единицы передается вторичным эталонам, образцовым и рабочим средствам измерений и лишь затем — рядовому потребителю. Таким образом, рабочий в цехе или ученый в лаборатории, производя свои измерения, находится где-то у подножия грандиозной метрологической пирамиды и отделен от ее вершины — первичного эталона — целым рядом промежуточных звеньев-этажей.

К поверочным схемам предъявляется несколько совершенно очевидных требований: первичный эталон должен обладать наивысшими возможными стабильностью и точ-



Упрощенный пример компоновки поверочной схемы. Вторичные эталоны подразделяются на эталон-копию, рабочий эталон и эталон сравнения (служат для взаимного сличения тех эталонов, которые нельзя сличить непосредственно). На рабочий эталон замыкаются образцовые средства измерений (ОСИ) различных разрядов, от которых, в свою очередь, размер единицы передается многочисленным семействам рабочих средств измерений (РСИ).

ностью, число промежуточных звеньев между ним и потребителем желательно уменьшить, надо обеспечить наименьшую потерю точности при спуске по этажам метрологической пирамиды.

Все эти требования не являются в настоящее время лишь абстрактными пожеланиями метрологов. Микроэлектроника, совершившая подлинную революцию во всей нашей жизни, нуждается в повышении точности измерения малых длин, электрических токов и напряжений. Составление карт магнитных полей, излучаемых органами человека, или регистрация ничтожных флуктуаций магнитного поля Земли (например, при по-

исках источников геотермальной энергии) требует такой чувствительности к изменению магнитного потока, которая еще недавно представлялась совершенно фантастической. Чрезвычайно высокие требования на стабильность и однородность магнитного поля накладываются многими новейшими технологиями и приборами (например, используемыми в медицине томографами, работа которых основана на явлении ядерного магнитного резонанса). В то же время для самолетовождения, космонавтики, радиоастрономии необходимо повышение точности измерения частоты и длины в очень больших пространственно-временных масштабах. Все эти потребности научной и производственной деятельности (а число примеров, подобных приведенным, можно увеличивать многократно) оказывают давление на метрологию «снизу», заставляют вести поиск новых путей повышения точности и расширения диапазонов измерений. Большие успехи в этой области, достигнутые новым перспективным научным направлением — квантовой метрологией, мы и обсудим далее. Но сначала — небольшой экскурс в историю.

ЧТО ВЗЯТЬ ЗА ЭТАЛОН?

Описанная в предыдущем разделе поверочная схема в чем-то подобна широко обсуждаемой в настоящее время административной системе управления обществом. При этом первичный эталон выполняет роль верховного руководителя. Только он воспроизводит передаваемый затем ниже размер единицы данной величины, так же как высший руководитель издает требования, обязательные для исполнения подчиненными. И, аналогично административной системе, нижние этажи поверочной схемы не могут проявлять никакой самостоятельности — только передавать дальше полученное сверху и по возможности точнее! Хотя, конечно, неизбежно возникают искажения, которые нарастают по мере удаления от вершины.

В любой иерархической системе недостатки высшего звена приобретают решающее значение: они могут лишь усиливаться и размножаться системой. Поэтому-то и важно найти наилучший ответ на вопрос: «Что взять за эталон?» В разные периоды развития человечества этот вопрос решался по-разному.

Исторически первыми появились антропометрические и вещественные эталонные меры. По самому смыслу слова антропометрические меры имеют своим прототипом те или иные части человеческого тела. В качестве примеров можно привести старинные

единицы длины — локоть, размер которого задавался локтевой костью человека, фут, задававшийся длиной ступни, или ладонь, равную ширине кисти руки. Нет нужды подробно останавливаться на недостатках подобных мер. Главный из них — нечеткость определения. Так, размер древнеегипетского локтя составлял примерно 52,3 см, шумерского — 49,5 см, а древнерусского — от 38 до 46 см.

Немного позже антропометрических появились вещественные меры, основанные на использовании в качестве эталона какого-либо предмета или изделия из повседневной человеческой практики (например, древнеегипетские и вавилонские эталоны локтя, изготовленные из дерева или камня). Вещественными являются также эталоны единиц массы — грана и карата, в качестве которых использовались зерна пшеницы и семена бобов, или специальные эталонные сосуды для измерений объемов и масс жидкостей.

Но наибольший интерес для нас представляет третий тип эталонов — так называемые естественные эталонные меры, однозначно фиксированные законами природы вне всякой связи с человеком и его деятельностью. С незапамятных времен люди пользуются естественной единицей времени, определяемой как период обращения Земли вокруг своей оси относительно Солнца, — солнечными сутками. Столь же давно используется другая естественная единица времени — год (период обращения Земли вокруг Солнца). В древности применялась и комбинированная единица длины, частью антропометрическая, а частью естественная, которую греки называли стадием. Стадий — это расстояние, проходимое человеком за время появления солнечного диска над горизонтом на восходе.

Важнейшими преимуществами естественных мер времени являются универсальность, доступность и относительно высокая стабильность. Ими может воспользоваться для своих измерений любой человек, обладающий определенными навыками и имеющий в своем распоряжении соответствующие технические приспособления. При этом точность измерений существенно выше, чем при использовании антропометрической (время между ударами человеческого сердца) или вещественной (песочные часы) мер времени.

После того как механика Ньютона утвердилась в качестве образца научных представлений о мире, естественные меры приобретают все большее число сторонников среди ученых. Но решающим фактором для разработки и принятия единообразной систе-

мы мер и весов, получившей название метрической, стало успешное развитие экономики передовых стран Запада в XVIII в. Не случайно поэтому именно революционная Франция выступила в 1790 г. инициатором создания новой системы мер. Образованную Национальным учредительным собранием Франции комиссию по реформе мер возглавил один из крупнейших ученых своего времени П. С. Лаплас. Активный участник реформы астроном и геодезист Ж. Б. Ж. Деламбр писал: «Как могут друзья равенства терпеть пестроту и неудобство мер, хранящих еще память о позорном феодальном рабстве... Для создания истинно философской системы мер, которая была бы достойна просвещенного века, нельзя допускать ничего, что не покоилось бы на прочных основаниях, что не связано теснейшим образом с предметами неизменными, ничего, что могло бы впоследствии зависеть от людей и от событий; надо обратиться к самой природе, почерпнув основу системы мер в ее недрах, и суметь найти в ней же способы проверки...»³ Так, казалось бы, чисто научные проблемы метрологии тесно сплелись с демократическими идеалами переустройства общества.

Комиссия под руководством Лапласа предложила принять за единицу длины одну сорок миллионную долю парижского меридиана. Работы по уточнению длины окружности земного меридиана завершились в 1799 г. Были изготовлены также образцы метра в виде платиновых и латунных линеек. Впервые в истории человечества единица длины стала естественной, определяемой размером грандиозного природного объекта — земного шара. Но был ли при этом полностью реализован идеал, столь красочно выраженный Деламбром? Этот вопрос оставлял большой простор для сомнений.

В ПОИСКАХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭТАЛОНОВ

Действительно, если всерьез искать основу системы мер в недрах самой природы, то ни размеры земного шара, ни периоды его обращения вокруг своей оси или вокруг Солнца не могут быть с достаточным основанием выбраны в качестве эталонных. Ведь Земля — не более чем планета Солнечной системы, расположенной на периферии Галактики из ста миллиардов звезд, которая, в свою очередь, — лишь одна из не-

скольких миллиардов галактик, составляющих Метагалактику. Абсурдно само предположение о том, что разумное существо, обитающее где-нибудь в туманности Андромеды, в поисках «прочных оснований» и «предметов неизменных» обратило бы свое внимание на такую маленькую, удаленную и второстепенную планету из другой галактики, как Земля. Следует ли из этого, что подлинно естественная система мер, общая для всей наблюдаемой Вселенной, невозможна? Или же наука конца XVIII в., верно поставив задачу, просто не смогла еще отыскать ее решение? Как мы убедимся ниже, справедливым оказывается последнее предположение.

Начало XX в. необычайно расширило научные представления человека о природе. Были созданы фундаментальные физические теории — теория относительности и квантовая механика, позволившие последовательно описать Вселенную в целом и каждый ее атом в отдельности. Согласно квантовой механике, атомы водорода или любого другого элемента абсолютно идентичны, в какой бы галактике они ни находились. Электроны в атоме имеют строго фиксированные дискретные значения энергии и при переходе с одного энергетического уровня E_2 на другой E_1 излучают кванты света — фотоны — с частотой $\nu = (E_2 - E_1)/h$, где h — фундаментальная физическая константа, получившая название постоянной Планка. Постоянная Планка не зависит ни от времени, ни от места, ни от внешних условий и служит универсальным коэффициентом, связывающим между собой значения энергии и частоты.

Другой фундаментальной физической константой является скорость света в вакууме c , которая, согласно специальной теории относительности, неизменна во всех системах отсчета и связывает воедино пространственные и временные масштабы. Если добавить к h и c третью фундаментальную константу — гравитационную постоянную G , введенную Ньютоном и использованную Эйнштейном в общей теории относительности, то из них можно составить величины размерности времени, длины и массы

$$t = \sqrt{\frac{Gh}{c^5}} \sim 10^{-43} \text{ с}, \quad l = \sqrt{\frac{Gh}{c^3}} \sim 10^{-33} \text{ см},$$

$$m = \sqrt{\frac{hc}{G}} \sim 10^{-5} \text{ г},$$

называемые планковскими единицами.

По-видимому, именно планковские единицы в наиболее полной мере воплощают в себе идеал «естественности». К этим

³ Цит. по: Деламбр И. Меры и метрическая система. М.—Л., 1953. С. 57.

единицам рано или поздно пришла бы любая цивилизация независимо от места ее обитания во Вселенной.

Но практическое использование планковских единиц в метрологии сталкивается с непреодолимыми трудностями. Мало того, что их значения лежат очень далеко от важных для человеческой практики диапазонов. Ведь для построения эталона недостаточно только формулировки определения единицы. Надо указать реальный физический процесс или объект, в котором бы воспроизводился размер данной единицы и от которого его можно было бы передавать другим средствам измерений. К сожалению, современной науке до сих пор неизвестны объекты, имеющие в точности планковские массы и длины, или процессы, длящиеся планковское время.

Тем не менее идентичность всех атомов данного элемента подсказывает нам, что процессы излучения света при определенных квантовых переходах могут быть использованы для создания естественных эталонов частоты ν , а следовательно, и интервала времени $T=1/\nu$. Далеко не все переходы при этом одинаково удобны, однако можно сформулировать требования, при выполнении которых достигается наивысшая точность (узкий резонансный переход). В 1967 г. XIII Генеральная конференция по мерам и весам приняла новое определение единицы времени — секунда, согласно которому она равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Естественный первичный эталон времени и частоты включает в себя печь, создающую пучок атомов цезия, источник радиочастотного поля, специальные селекционирующие системы и детекторы. Он позволяет воспроизводить размер единиц с относительной погрешностью $\delta=10^{-14}$. Столь высокая точность (под точностью понимается величина, обратная δ) в принципе не может быть достигнута при использовании эталонов, основанных на вращении Земли вокруг оси или вокруг Солнца, так как эти вращения происходят не вполне равномерно (из-за изменения момента инерции Земли и гравитационного взаимодействия ее с другими планетами).

Излучаемый при атомных переходах свет обладает не только определенными дискретными частотами, но и длинами волн. Очевидно, что эти длины значительно более универсальны, стабильны и независимы от внешних условий, чем длины земного меридиана или платиново-иридиевых стержней. Поэтому в 1960 г. XI Генеральная конфе-

ренция по мерам и весам определила метр как 1 650 763, 73 длин волн (в вакууме) излучения, соответствующего определенному переходу между двумя возбужденными уровнями атома криптона-86. Для реализации этого определения был создан естественный первичный эталон длины, в состав которого входит разрядная трубка с горячим катодом, содержащая криптон-86. Относительная погрешность воспроизведения метра новым эталоном уменьшилась до $\delta=5 \cdot 10^{-9}$.

Криптоновый эталон метра сравнительно недолго оставался на вершине поверочной схемы измерений длины. Прежде всего, точность его все еще не удовлетворяла возрастающим практическим потребностям в области измерения малых длин (напомним, что характерный размер атома порядка 10^{-10} м). Не полностью соблюдалось и требование единства измерений, так как большие длины в астрономии и геодезии измерялись вне связи с эталоном по времени распространения света между рассматриваемыми объектами (например, между Землей и Луной). Поскольку частота является единицей, измеряемой с наивысшей точностью, возникла мысль вообще отказаться от отдельного эталона длины, заменив его эталоном частоты и постулировав как точное, определенное значение скорости света c . При этом длина волны вычисляется по известной формуле $\lambda=c/\nu=cT$.

Хотя, в принципе, скорости света при таком подходе можно приписать любое значение (ведь единица длины пока не определена), желательно, чтобы во всех измерениях длин с относительной погрешностью $\delta \geq 5 \cdot 10^{-9}$ использование «световой» единицы длины давало бы те же значения, что и использование «криптоновой». Поэтому необходимо сначала как можно точнее измерить скорость света с помощью цезиевого эталона времени-частоты и криптонового эталона длины. Такие измерения были проведены американскими учеными в начале 70-х годов и позволили XVII Генеральной конференции по мерам и весам в 1983 г. постулировать как точное значение $c=299\,792\,458$ м/с. На этой же конференции метр был определен как длина пути, пройденного светом в вакууме за интервал времени, равный $1/299\,792\,458$ с. Естественный первичный эталон метра, реализующий это определение, вошел в состав единого первичного эталона времени, частоты и длины, что привело к повышению предельной точности измерений длины на порядок по сравнению с криптоновым эталоном.

Таким образом, применение в метро-

логии квантовых явлений испускания света атомами позволило создать естественный эталон основной единицы СИ — времени, производной единицы — частоты, а использование фундаментальной физической константы — скорости света c — объединило эти эталоны с эталоном еще одной основной единицы СИ — длины. Здесь уместно сказать, что раздел метрологии, пограничный с квантовой физикой и решающий проблемы создания эталонов и других средств измерений на основе стабильных квантовых явлений и фундаментальных физических констант, называют квантовой метрологией⁴ (сам термин возник, по-видимому, в начале 70-х годов, хотя исследования в данной области активно проводятся с середины столетия).

Возникает законный вопрос о возможности реализации методами квантовой метрологии естественных эталонов остальных основных (ампер, килограмм) и производных (вольт, ом и т. д.) единиц СИ. Нетривиальность этого вопроса заключается в том, что некоторые величины, например электрическое сопротивление, вообще не имеют микроскопического аналога, а аналоги других принимают значения в столь далеких от повседневных практических потребностей диапазонах, что приходится оставить всякую надежду на их непосредственное использование. Выход из сложившегося трудного положения удалось найти благодаря существованию микроскопических квантовых эффектов — интереснейших и поныне не до конца объясненных явлений, связанных с когерентным поведением огромного числа микрочастиц, в результате которого квантовые закономерности выходят из «подполья» микромира и начинают открыто проявляться в макроскопическом опыте.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ, ЭФФЕКТЫ ДЖОЗЕФСОНА И ЭТАЛОН НАПРЯЖЕНИЯ

Явление сверхпроводимости состоит в том, что при достаточно низкой температуре (в первых опытах Камерлинг-Оннеса 1911 г. — около 4 К) электрическое сопротивление некоторых металлов и сплавов обращается в нуль. В последние три года об этом явлении пишут не только научные и научно-популярные журналы, но и массовые журналы и даже газеты. Дело в том, что неожиданно удалось обнаружить целый класс керамических материалов, обладающих сверхпрово-

димостью при относительно высокой температуре порядка 100 К.

Физикам-теоретикам для объяснения открытия Камерлинг-Оннеса потребовалось почти полвека: механизм сверхпроводимости стал в общих чертах понятен лишь после работ Дж. Бардина, Л. Купера, Дж. Шриффера и Н. Н. Боголюбова, выполненных в 1957 г. Коротко объяснение этого явления состоит в следующем.

Как известно, электроны в твердом теле не только отталкиваются друг от друга по закону Кулона, но и притягиваются за счет взаимодействия с ионами решетки. В некоторых веществах при достаточно низких температурах итоговое взаимодействие для части электронов соответствует слабому притяжению. В этом случае из соображений минимума энергии электронам с противоположно направленными импульсами и спинами выгодно объединиться в так называемые куперовские пары, каждая из которых имеет заряд $2e$.

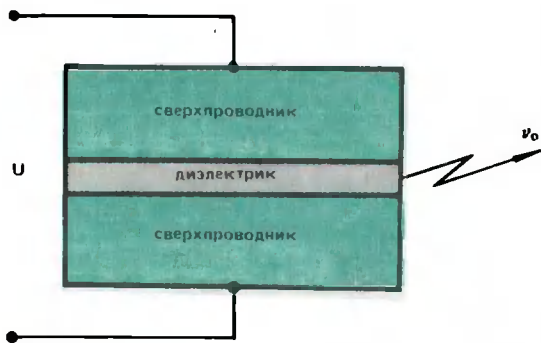
В отличие от электронов, у которых спин равен $1/2$, куперовские пары обладают нулевым спином, т. е. являются бозонами. Согласно квантовой механике, при температурах вблизи абсолютного нуля бозоны в огромном количестве скапливаются (конденсируются) в основном состоянии, описываемом волновой функцией $\psi = |\psi|e^{i\varphi}$ и имеющим минимальную энергию, образуя так называемый конденсат (φ — фаза волновой функции). Когерентное течение макроскопически большого числа куперовских пар из конденсата, происходящее без сопротивления со стороны обтекаемых ионов, и есть сверхпроводимость.

В 1962 г. 22-летний Б. Д. Джозефсон, недавний выпускник Кембриджского университета, предсказал несколько эффектов в области сверхпроводимости⁵, которые очень скоро были подтверждены экспериментально, сделали его знаменитым и принесли Нобелевскую премию по физике 1973 г.

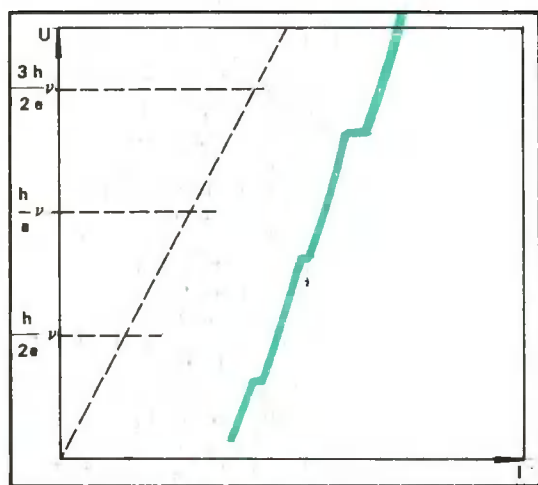
Джозефсон рассмотрел два сверхпроводника, разделенных тонкой (толщиной 10—20 Å) пленкой диэлектрика. В одном сверхпроводнике основное состояние куперовских пар описывается волновой функцией с фазой φ_1 , в другом — фазой φ_2 . Тогда из квантовой механики следует, что через переход Джозефсона в результате туннелирования куперовских пар потечет сверхпроводящий ток в отсутствие разности потенциалов. Это новое физическое явление получило

⁴ Квантовая метрология и фундаментальные константы / Пер. с англ. под ред. Р. Н. Фаустова и В. П. Шелеста. М., 1981.

⁵ Питаевский Л. П. Макроскопические квантовые явления // Природа. 1980. № 4. С. 40.



Схематическое изображение джозефсоновского перехода, с помощью которого можно наблюдать стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.



Вольт-амперная характеристика джозефсоновского перехода. Значения напряжения, отвечающие плоским ступенькам, строго фиксированы и могут использоваться как эталонные.

название стационарного эффекта Джозефсона.

Если теперь приложить к джозефсоновскому переходу разность потенциалов U , то при туннелировании куперовской пары из одного сверхпроводника в другой избыток ее энергии $2eU$ должен излучиться в виде кванта света — фотона, частота которого определяется из закона сохранения энергии

$$h\nu_0 = 2eU,$$

Это нестационарный эффект Джозефсона.

Наконец, если, наоборот, облучать джозефсоновский переход излучением ча-

стоты $\nu = \nu_0/p$, где p — целое число, то в нем возникает резонансное взаимодействие, приводящее к появлению на вольт-амперной характеристике перехода плоских ступенек при напряжениях

$$U = p \frac{h}{2e} \nu.$$

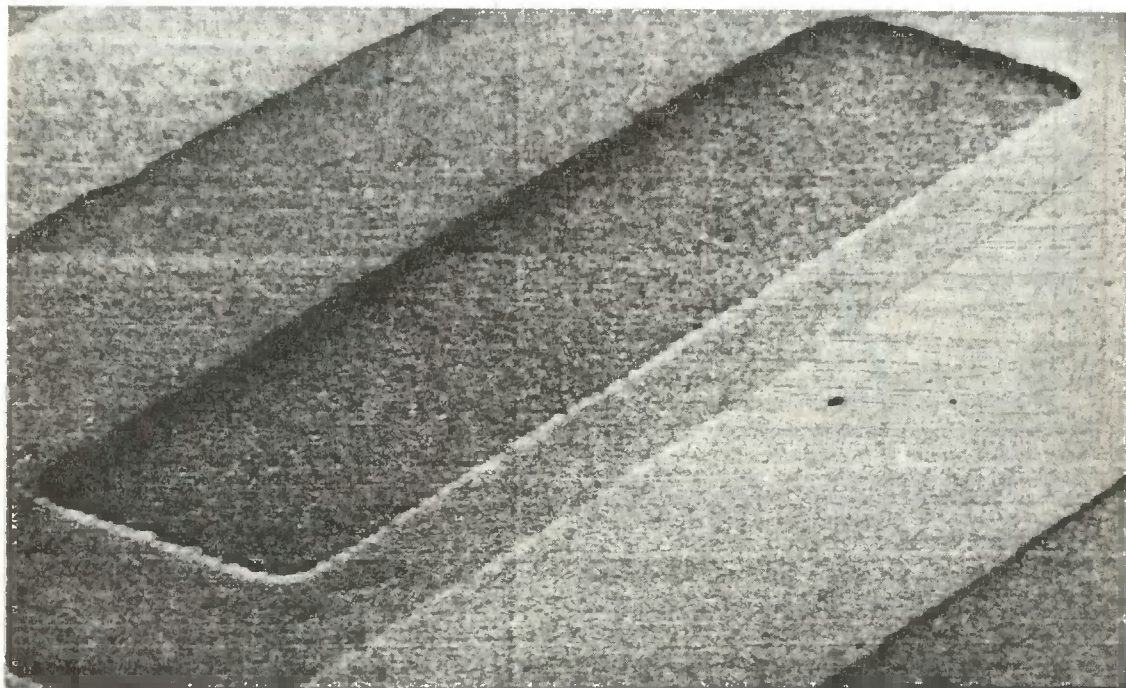
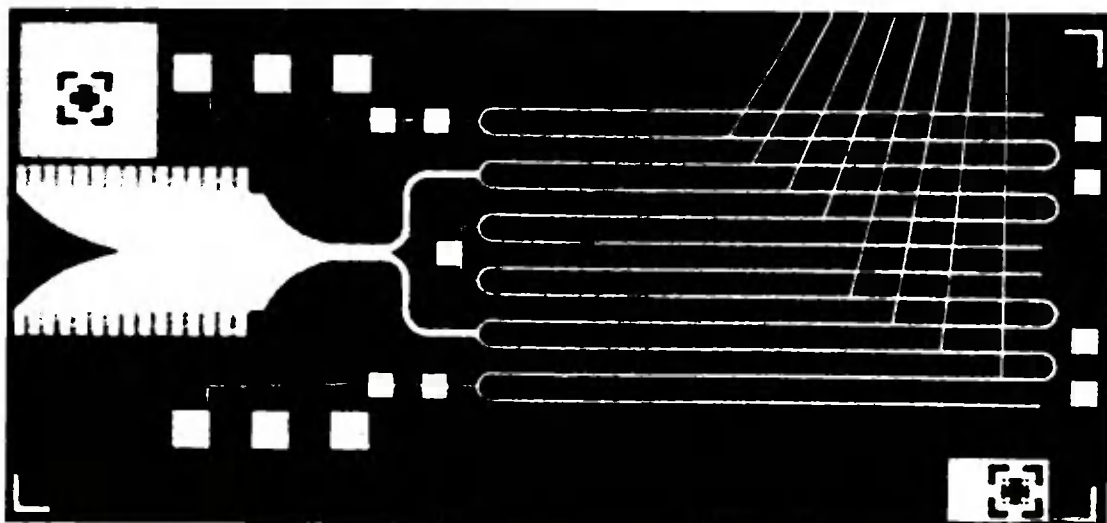
Это обратный нестационарный эффект Джозефсона, используемый в квантовой метрологии для воспроизведения единицы напряжения. Как показали специальные эксперименты, относительная величина поправок к формуле, связывающей напряжение U с частотой облучения ν , не превышает 10^{-16} . Отметим, что из всех физических величин наиболее точно измеряется именно частота, а элементарный заряд e является фундаментальной физической константой, подобной h , c и G . Комбинация $h/2e$ называется квантом магнитного потока и может быть измерена с большей точностью, чем h и e по отдельности (заседание Консультативного комитета по электричеству, состоявшееся в Париже в сентябре 1988 г., утвердило значение $2e/h = 483\,597,9$ ГГц/В).

Эталоны вольты на основе эффекта Джозефсона используются с конца 70-х годов и характеризуются точностью до 10^8 . Обычно в состав эталона входит единичный переход, облучаемый СВЧ-излучением на частоте 8—10 ГГц, а величина воспроизводимого напряжения составляет всего 4—10 мВ. Чтобы передать размер единицы напряжения в вольтный диапазон, приходится использовать масштабные преобразователи и нормальные элементы, приводящие к потере точности. В связи с этим в ФРГ и США к настоящему времени созданы естественные эталоны единицы напряжения на основе интегральных схем из порядка 1000 последовательно соединенных переходов Джозефсона, воспроизводящие сразу напряжение в 1 В и выше⁶. Точность таких эталонов доходит до 10^9 и в будущем, несомненно, еще повысится.

КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА И ЭТАЛОН СОПРОТИВЛЕНИЯ

В 1980 г. молодой западногерманский экспериментатор К. фон Клитцинг изучал электрические свойства сложных структур типа металл—диэлектрик—полупроводник в сильном магнитном поле при температуре вблизи абсолютного нуля. Совершенно неожиданно (как в свое время Камерлинг-

⁶ Мостепаненко В. М., Потапов С. В. // Измер. техника. 1986. № 8. С. 16.



Оптическая микрофотография с увеличением в 10 раз интегральной схемы, содержащей 944 перехода Джозефсона (слева). Видна СВЧ-антенна в виде «хвоста», по которой на схему поступает излучение. Джозефсоновские переходы последовательно включены в микрополосковые линии, помеченные на фотографии восемью указателями (фотографии здесь и ниже любезно представлены руководителем лаборатории экспериментальной квантовой метрологии ВНИИМ им. Д. И. Менделеева С. В. Потаповым).

Изображение одного туннельного перехода Джозефсона из интегральной схемы в электронном микроскопе с увеличением в 2000 раз (справа). Туннелирование происходит перпендикулярно прямоугольной лунке из первого сверхпроводника (никобий) через диэлектрическую пленку толщиной 5 нм (окись ниобия) во второй сверхпроводник (сплав индий — свинец).

Оннес) фон Клитцинг открыл новое физическое явление, названное им квантовым эффектом Холла⁷. Со времени открытия эффекта прошло уже 10 лет, в 1985 г. его автор был удостоен Нобелевской премии по физике⁸, однако последовательного объяснения всей совокупности наблюдаемых фактов, несмотря на огромные усилия лучших теоретиков мира, до сих пор не существует. Поскольку квантовый эффект Холла позволяет воспроизводить значение электрического сопротивления, выражаемое только через фундаментальные физические константы, хотя бы кратко обсудим принципиальную схему его наблюдения.

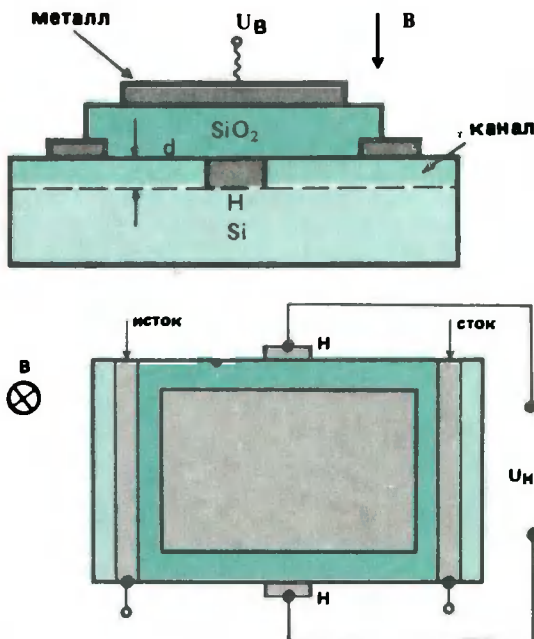
Пусть на металлическую пластину подано положительное напряжение U_B . Тогда часть электронов из кремниевых полупроводника Si подтянется к границе диэлектрика SiO_2 и окажется заключенной в тонком слое — канале, выйти из которого электроны не могут, поскольку диэлектрик SiO_2 для них непроницаем, а обратно в полупроводник Si им не дает вернуться притяжение к положительно заряженной металлической пластине.

Запертые в канале толщиной d электроны, согласно квантовой механике, занимают наинизший из возможных дискретных энергетических уровней, соответствующих движению поперек канала, а их волновые функции «размазаны» по его толщине. Такие электроны различаются между собой лишь величиной и направлением импульса в плоскости канала, т. е. становятся как бы двумерными.

В отличие от Холла фон Клитцинг использовал очень сильные магнитные поля $B \sim 10$ Тл и, как уже отмечалось, проводил свой эксперимент при температуре вблизи абсолютного нуля. Тем не менее он был очень удивлен, когда вместо плавного уменьшения сопротивления R_H с ростом плотности электронов в канале ρ_e обнаружил на зависимости R_H от ρ_e плоские участки, расположенные при строго фиксированных значениях

$$R_H = \frac{h}{e^2 n}.$$

Качественное объяснение квантового эффекта Холла можно дать, если принять во внимание квантовый характер взаимодействия электронов с магнитным полем. Согласно квантовой механике, энергия их движения



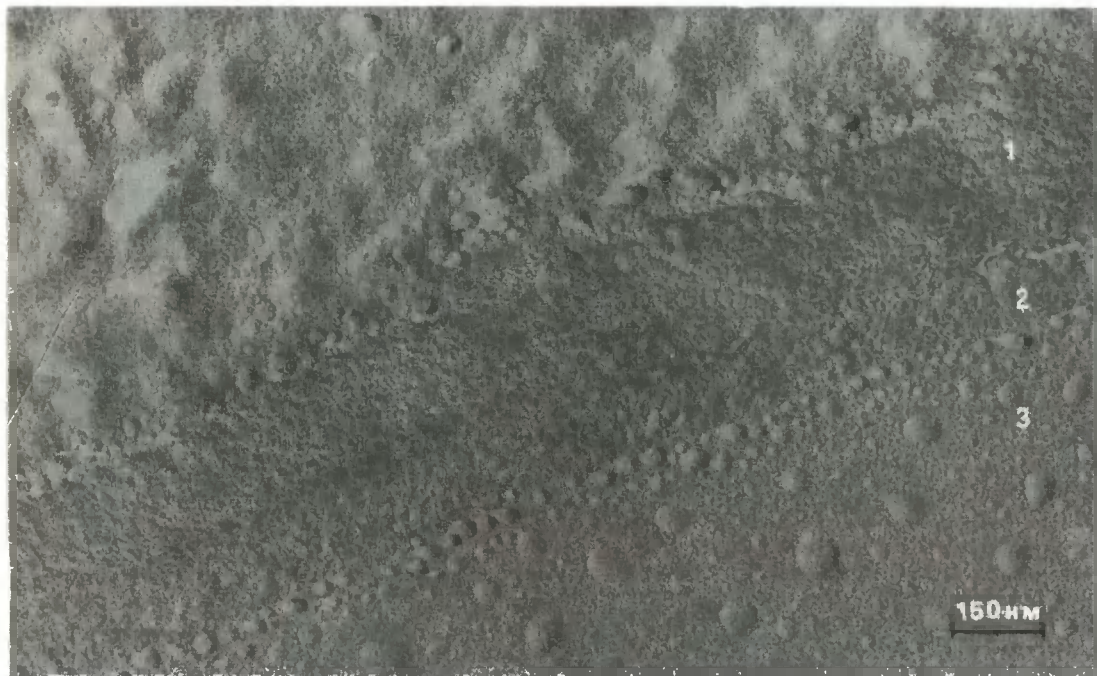
Схематическое изображение холловской структуры типа металл—диэлектрик—полупроводник: вверху — вид сбоку, внизу — вид сверху. При подаче напряжения на электроды «исток» — «сток» между ними течет ток I . Если включить магнитное поле B , перпендикулярное плоскости канала, то электроны, изгибая свои траектории, начнут скапливаться у боковых краев структуры, пока возникшая за счет этого разность потенциалов U_H между контактами H не воспрепятствует их дальнейшему накоплению. Такое явление было открыто в 1879 г. американским физиком Э. Г. Холлом. По закону Ома, напряжению U_H и току I соответствует так называемое холловское сопротивление $R_H = U_H/I$, которое, как можно прочесть в любом курсе общей физики, обратно пропорционально плотности ρ_e электронов в канале.

в плоскости слоя может принимать только дискретные значения. Следовательно, с учетом сказанного выше, движение электронов оказывается квантованным, т. е. дискретным, по всем трем координатам. Необходимо учесть также, что в полупроводниковом слое обязательно присутствуют какие-либо примеси. Расчет показывает, что при увеличении ρ_e вблизи некоторых значений добавочные электроны оказываются связанными около примесей и не дают вклада в ток. На графике зависимости R_H от ρ_e этим значениям и соответствуют плоские участки.

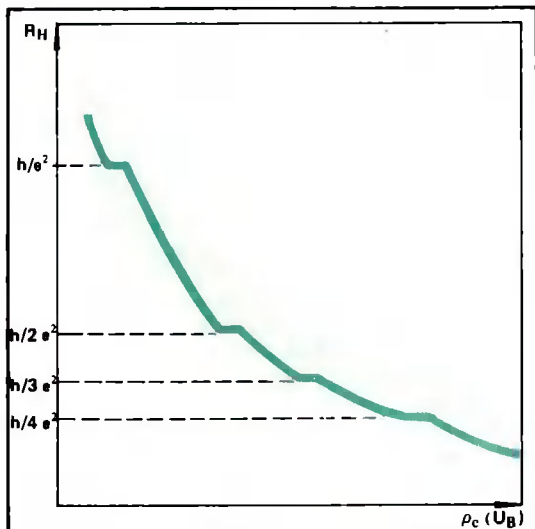
В единицах СИ формулу для квантованного холловского сопротивления можно переписать в виде $R_H = \mu_0 / 2\pi\alpha$, где μ_0 — магнитная постоянная, $\alpha = \mu_0 e^2 / 2h$ — по-

⁷ Семенчинский С. Г., Эдельман В. С. Полевой транзистор с постоянной тонкой структурой // Природа. 1982. № 9. С. 38.

⁸ Лауреаты Нобелевской премии 1985 г. По физике — К. фон Клитцинг // Природа. 1986. № 1. С. 94.



Изображение разреза структуры металл—диэлектрик—полупроводник, полученное в электронном микроскопе с увеличением 83 000 раз. Цифрой 1 помечен слой металла (алюминия) толщиной 200 нм, 2 — слой окиси кремния (150 нм), 3 — кремниевая подложка. На границе между 2 и 3 виден канал, в котором формируется двумерный электронный газ.



Зависимость холловского сопротивления R_H от плотности электронов ρ_c в слое или, что то же, от напряжения на металлической пластине U_B . Плоским ступенькам отвечают строго фиксированные значения сопротивления, которые могут использоваться как эталонные.

стоянная тонкой структуры, значение которой известно с очень большой точностью. Например, при $p=4$ холловское сопротивление составляет $R_H \approx 6453,2$ Ом. Возможные поправочные члены к приведенному выражению через значения фундаментальных физических констант в настоящее время неизвестны; во всяком случае вносимая ими относительная погрешность не превосходит $10^{-6} - 10^{-9}$. Поэтому в ряде стран уже созданы естественные эталоны единицы сопротивления на основе квантового эффекта Холла и начиная с 1990 г. готовится переход на такой эталон в международном масштабе. Консультативный комитет по электричеству на своем заседании в сентябре 1988 г. приписал постоянной фон Клитцинга значение $h/e^2 = 25812,807$ Ом. Нет сомнения, что естественный эталон ома сменит вскоре все другие эталоны сопротивления, основанные на классических средствах электрических измерений.

ВОЗМОЖНЫ ЛИ ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЭТАЛОНЫ АМПЕРА И КИЛОГРАММА?

Мы рассказали, как макроскопические квантовые эффекты Джозефсона и Холла помогли создать естественные эталоны вольта и ома, основанные на фундаментальных физических константах. Но в СИ основной электрической величиной является сила электрического тока, измеряемая в амперах.

Ампер определяется как сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы в каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н. К сожалению, эталон, основанный на этом определении, принятом еще в 1946 г., не может удовлетворить современным требованиям ни по точности, ни по стабильности, ни по доступности потребителю (в частности, точность воспроизведения ампера на эталонных ампер-весах, в которых электрическая сила уравнивается силой тяжести, действующей на груз заданной массы, не превосходит 10^6).

В 1987 г. японскими физиками впервые наблюдался новый макроскопический квантовый эффект, возникающий на джозефсоновском переходе очень малой площади $S \sim 10^{-11}$ см² и емкости $C \sim 10^{-16}$ ф либо на гранулированной сверхпроводящей пленке, в которой образуется совокупность таких переходов. Облучение образца излучением с частотой ν приводит к появлению резонансных пиков на его вольт-амперной характеристике при значениях постоянного тока, проходящего через образец, $I = 2e\nu$ (ранее такой эффект обсуждался А. Вайдомом и К. К. Лихаревым). Тем самым появляется возможность создать естественный эталон единицы силы тока, основанный на измерениях частоты и известном значении фундаментальной физической константы — элементарного заряда. К сожалению, чрезвычайно жесткие требования к параметрам переходов и температуре ($T \sim 0,1$ К) не позволили пока произвести измерения с относительной погрешностью, меньшей 0,003.

Значительно проще скомбинировать естественный эталон ампера из эталонов вольты (на эффекте Джозефсона) и ома (на квантовом эффекте Холла). Тогда с учетом закона Ома воспроизводимый ток определится соотношением $I = n(h/2e) \nu R_H^{-1}$. При этом возникает парадоксальная ситуация, ничему, впрочем, не противоречащая, когда эталон производной единицы оказывается основным.

Если об естественном эталоне ампера можно говорить уже в совершенно практическом плане, с естественным эталоном килограмма дело обстоит значительно хуже. Измерение массы — самый консервативный вид измерений. В древнем Египте и Вавилоне четыре тысячелетия назад уже существовали вещественные эталоны массы, а масса произвольных тел определялась с помощью

весов. Точно так же мы поступаем и сегодня, только конструкция весов претерпела определенные изменения при сохранении основного принципа действия. Современным вещественным эталоном килограмма с 1889 г., т. е. уже 100 лет, служит цилиндрическая гиря из платиново-иридиевого сплава, копии которой хранятся в метрологических ведомствах разных стран. Такой эталон позволяет определять массы тел в килограммовом диапазоне с точностью до 10^5 , что вполне достаточно для большинства повседневных потребностей.

Однако наука и основанные на ней тонкие промышленные технологии не могут удовлетвориться вещественным эталоном единицы массы. Им приходится иметь дело с объектами микромира, масса которых на десятки порядков меньше килограмма (например, масса протона $m_p \approx 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, а масса электрона $m_e \approx 0,91 \cdot 10^{-30}$ кг). Измерять столь малые массы в килограммах без существенной потери точности невозможно. Кроме того, использование уникальных гирь в качестве эталонов массы связано с известными недостатками, присущими всем вещественным эталонам (например, даже две абсолютно идентичные гири изготовить невозможно). Поэтому и физики, и метрологи уже давно думают над вопросом о естественных эталонах массы.

Хотя в природе, как уже говорилось, пока не обнаружено объектов, имеющих в точности планковскую массу (планкеонов), за единицу массы можно принять массу какого-либо стабильного атома. Например, за атомную единицу массы (а. е. м.) принимают $1/12$ массы атома углерода ^{12}C , содержащего равное число протонов и нейтронов. Все такие атомы абсолютно идентичны, а время их жизни почти совпадает с возрастом Вселенной. Поэтому такой атом можно выбрать в качестве естественного эталона массы.

Возникает вопрос, как измерить массу порядка килограмма в атомных единицах массы. Для этого необходимо иметь значение еще одной фундаментальной физической константы — постоянной Авогадро N_A , т. е. числа атомов (молекул или других структурных элементов) в одном моле вещества (напомним, что 1 моль содержит столько атомов, сколько их содержится в 0,012 кг углерода ^{12}C). С использованием постоянной Авогадро получаем, что $1 \text{ кг} = (10^3 \text{ моль}) N_A \cdot 1 \text{ а. е. м.}$, т. е. вещественная единица массы оказывается выраженной через естественную.

Но не будем забывать, что эталонная гиря обеспечивает точность измерений массы до 10^6 . Чтобы новая единица массы могла

с ней успешно конкурировать, надо знать значение N_A с относительной погрешностью, не большей 10^{-8} . К сожалению, пока $\delta_{N_A} \sim 10^{-6}$ и имеются принципиальные препятствия дальнейшему повышению точности.

Резюмируя, можно сказать, что хотя с теоретической точки зрения естественный эталон массы вполне возможен, пройдет еще, по-видимому, немало времени до того, как заслуженную платиново-иридиевую гирю можно будет наконец сдать в музей.

НА ПУТИ К СИСТЕМЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭТАЛОНОВ

Естественные эталоны, которые мы обсуждали в предыдущих разделах, существенно различаются между собой. Например, в эталоне ома на квантовом эффекте Холла размер воспроизводимой единицы был выражен через значения фундаментальных физических констант, а в цезиевом эталоне времени и частоты этого сделать не удастся. Дело в том, что атом цезия — сложная многоэлектронная система, и достаточно точный расчет сверхтонкого расщепления его основного состояния не под силу даже самым мощным ЭВМ.

Можно ли создать систему естественных эталонов, в которой размеры всех воспроизводимых единиц вычисляются только через значения фундаментальных физических констант? В принципе такая возможность существует. Первым шагом к ее реализации было бы создание нового естественного эталона времени и частоты, в котором за эталонную выбрана частота оптического перехода атома водорода из основного в первое возбужденное состояние, происходящего с поглощением двух фотонов. В настоящее время и в нашей стране, и за рубежом ведутся прецизионные измерения этой частоты методами бездоплеровской лазерной спектроскопии (когда искажения, вносимые эффектом Доплера, компенсируются за счет использования двух противоположно направ-

ленных лазерных пучков). В то же время квантовая электродинамика позволяет выразить ее значение через фундаментальные физические константы с точностью порядка 10^{12} .

Рассуждая о перспективах развития системы естественных эталонов, нельзя забывать и того, что важнейшей задачей метрологии является удовлетворение потребностей практики, обеспечение необходимой точности и единства всех производимых измерений. Уже существующие естественные эталоны различных типов, основанные на фундаментальных физических константах и стабильных квантовых явлениях, вносят все возрастающий вклад в ее решение.

Размеры единиц, воспроизводимые этими эталонами, фиксированы самой природой, а не приняты по соглашению. Естественные эталоны можно тиражировать, изготавливая их достаточно компактными и даже транспортируемыми, причем один экземпляр будет ничуть не хуже и не лучше другого. Это приведет в будущем к решительному сокращению громоздких поверочных схем, создаст совершенно новую ситуацию, когда при соблюдении определенных условий (тип и качество структуры, температура, магнитное поле) точность воспроизведения единицы гарантируется скорее законами объективной действительности, чем сравнениями с вышестоящим средством измерения. Естественные эталоны позволяют ослабить требования к централизации измерений без потери их единства. Поэтому переход от вещественных к естественным мерам, как это остро ощущали ученые времен Великой французской революции, по сути своей глубоко демократичен. В сфере измерений он воплощает столь неприемлемую для любой административной системы мысль, что свои личные действия свободный член общества должен проверять не соответствием с указаниями руководящих инстанций общественной иерархии, а в первую очередь существом дела.

«Эффект кровли», или Из чего образовался каменный уголь?

Е. Г. Пасков,

кандидат геолого-минералогических наук
Центральный научно-исследовательский геологоразведочный
институт Министерства геологии СССР

СЧИТАЕТСЯ бесспорным, что уголь образуется из растительных остатков. Модель этого процесса достаточно проста: в болоте накапливается торф, затем он перекрывается наносами, погружается на глубину, где в процессе химических реакций превращается в уголь. При этом объем торфа значительно уменьшается — под тяжестью перекрывающих осадков он как бы сплющивается, отчего мощность угольного пласта оказывается в несколько раз меньше мощности исходного пласта торфа. Остановимся подробнее на этом явлении.

Объем торфа сокращается прежде всего за счет обезвоживания и механического уплотнения, что можно видеть на торфоразработках, где под прессом объем торфяных брикетов уменьшается в среднем в пять раз. Далее удаляется избыток кислорода, которого в торфе около 40 %, а в антраците, например, почти нет. Кислород, выделяясь в составе CO_2 , прихватывает с собой и немалую часть углерода, кроме того, выделяется метан (CH_4), что также ведет к значительной потере первоначального объема. В результате при переходе от предельно уплотненного торфа (торфяных брикетов) к бурому углю объем может сократиться еще в два-три раза, к каменному углю — в четыре-пять, к антрациту — в шесть-восемь раз¹.

Исходя из того, что при образовании бурого угля исходный объем торфа может сокра-

титься в 5—20 раз², можно полагать, например, что из 10-метрового слоя торфа может получиться слой бурого угля толщиной 0,5—2 м и еще меньший — каменного угля или антрацита.

Обратим внимание на то, что залежи торфа окружены песками, глинами, суглинками и другими осадками, которые вместе с торфом перекрываются наносами, погружаются на глубину и уплотняются. Однако их мощности заметно не меняются: пески фактически не сокращаются в объеме, а глины — на 20—30 %. По данным В. Н. Волкова, например, пачка глин мощностью 10 м при погружении на глубину до 1 км изменит толщину всего на 1,3 м, что, конечно, несопоставимо с тем, как сокращается объем торфа.

На начальной стадии погружения торфяник достаточно упруг и совсем не прогибается под маломощными наносами, но когда он превратится в уголь, то опустится и его кровля. Поскольку объем вмещающих пород почти не меняется, над пластом должен возникнуть провал кровли в виде сундучной складки. Нетрудно сообразить, что для угольных пластов любой мощности, состава, любых возможных коэффициентов усадки торфа и вмещающих пород провал кровли будет вполне ощутимым, так что не заметить его невозможно.

Однако провалов кровли над угольными пластами до сих пор никто не наблюдал, их, су-

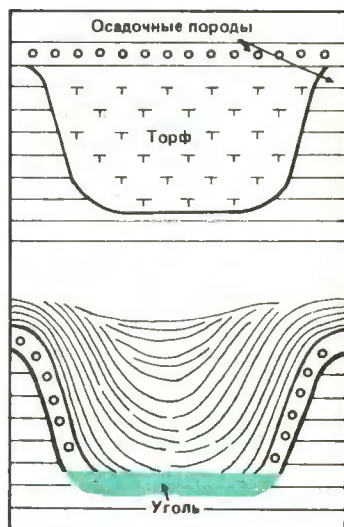


Схема образования угля из торфа. Вверху — начальная стадия погружения торфа, его перекрывают маломощные наносы; внизу — стадия формирования угольного пласта: из-за различия в изменении объема торфа и вмещающих пород над кровлей над угольным пластом прогибается, приобретая вид сундучной складки.

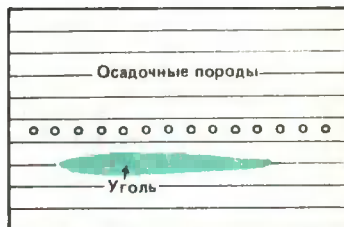
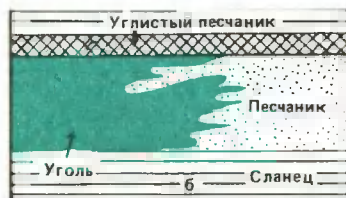


Схема залегания наблюдаемых угольных пластов.

¹ Волков В. Н. Геология и охрана ресурсов ископаемых углей. Л., 1985.

² Матвеев А. К. Черный Голосиф // Природа. 1985. № 9. С. 77—81.



Зоны выклинивания угольных пластов; зарисовки в шахтах Кизеловского (а) и Донецкого (б) бассейнов (по Ю. Жемчужникову, 1948). Прогиба кровли под углями нет.

дя по всему, просто нет в природе. Кровля над реальными угольными пластами не дает и намека на прогиб и непрерывно на одном и том же уровне простирается за его пределы, в чем легко убедиться, вспоминая личные наблюдения или открыв любую книгу по геологии угольных месторождений. При этом необязательно видеть весь разрез угольного пласта, протянувшийся порой на сотни метров и более, достаточно зоны выклинивания или небольшой линзы угля, целиком уместающейся в обнажении или стенке карьера. Фактически каждый пласт угля залегает в разрезе, как, скажем, обычный пласт песчаника. Мы настолько привыкли к таким картинам, что не замечаем их несоответствие гипотезе торфяной природы угля, поскольку отсутствие провала кровли над угольными пластами означает, что материнское вещество углей сокращалось так же, как и вмещающие минеральные породы, т. е. не могло быть торфом. Это заставляет вновь вернуться к вопросу: из чего же образовался ископаемый уголь?

Гипотезу его возникновения из углеводородов возродил в начале нашего века химик-органик К. В. Харичков, писавший, в частности: «Замечатель-

но, что эти воззрения, возродившиеся в последнее время, имеют свою историю, весьма давнюю. Так, доктор Мук в своем классическом сочинении «Химия каменного угля» говорит, что еще в 1544 г. Агрикола высказывал мнение, рассматривавшее каменный уголь как сгустившуюся нефть; в начале XIX столетия то же мнение высказывал Вебстер, а впоследствии Бутини. Раньше, в XVII и XVIII столетиях, взгляд на нефть и битумы как на материал для образования углистых ископаемых имел много последователей. Достойно внимания, что Мук приводит эти взгляды как «научные курьезы», не заслуживающие критики, в такой степени очевидной представлялась ему растительная теория. Но в 1897 г. Оксенюс, основываясь на моих работах по изучению нефтеобразовательных процессов, высказал соображение, что если огромные запасы жидкого битума могли произойти неорганическим путем, без участия организмов, почему не могли тем же путем образоваться запасы ископаемого угля»³.

В последние годы появился еще ряд сторонников этой гипотезы, например: В. Е. Моисеев, отстаивающий нефтяную природу углей месторождения Фусинь в Китае, где они достигают мощности 80 м; Е. Е. Воронин и В. С. Воробьев, по образному выражению которых все угольные бассейны служат «памятниками» бывших нефтегазовых провинций; Д. М. Табатадзе, рассматривающий все угли как продукты преобразования нефти; американский исследователь Т. Голд, связывающий образование углей с поступлением глубинных углеводородов.

Известно, что углеводороды могут полимеризоваться, загустевать и превращаться в твердые углеподобные битумы, называемые «нефтяными углями». Эти угли по внешнему виду, физическим и химическим свойствам не отличаются от «настоящих», которые принято относить к растительным, поэтому столь важно обнаружить какие-

то иные признаки, чтобы по ним можно было уверенно отличать их друг от друга.

В литературе описаны примеры, когда «нормальные растительные» угли после детального изучения были классифицированы как нефтяные. Так случилось с углями Капской провинции (ЮАР), которые вначале приняли за обычные антрациты, а спустя 20 лет признали своеобразными нефтяными возгонами. Сходная история произошла с углями канадской провинции Альберта, которые после острой дискуссии отнесли к новой разновидности твердых битумов и назвали альбертитами. Споры об их природе были столь ожесточенными, что послужили предметом даже судебного разбирательства (какое решение принял суд — в научной литературе не сообщается)⁴. Долго угли южной Ферганы все геологи принимали за антрацитовую разновидность обычных углей, и только в конце 60-х годов их признали производными углеводородов.

Недавно выяснилось, что каменные угли Хасынского месторождения (Магаданская обл.), ранее относившиеся к растительным, внедрились и активно замещают собой тела полевошпатовых порфиров. Очевидно, что они возникли из весьма агрессивных растворов углеводородов, способных выщелачивать магматические породы, образуя в них пустоты, и одновременно осаждают в них углистое вещество⁵. Подобные процессы замещения (метасоматические) широко развиты в природе, но для угольных пластов обнаружены впервые.

Выявление нефтяной природы углей требует иного, не стандартного подхода, и большое, если не решающее, значение может иметь, по мнению автора, анализ поведения над ними кровли.

Образование углей из нефти возможно двумя способами. Первый — за счет излившейся нефти или вязких битумов, которые на поверхности теряют

³ Харичков К. В. Новые данные о происхождении жидких и твердых битумов и углистых веществ. Грозный, 1908. С. 14.

⁴ Орлов Н. Е., Успенский В. А. Минералогия каустобиолитов. М. — Л., 1936.

⁵ Песков Е. Г. // Геология и геофизика. 1990. № 10. С. 120—124.

летучие компоненты, окисляются, полимеризуются, сокращаются в объеме и превращаются в твердые хрупкие углеподобные породы, известные как кировы, со временем «дозревающие» до «настоящих» углей. Перекрываясь наносами, эти покровы уже не сокращаются в объеме. В таких пластах уголь содержит растительные остатки, занесенные в битумы ветром, водой или захваченные ими на месте произрастания. Нередко это целые стволы, срезанные на одном уровне (уровне поверхности битумного покрова, затопившего лесной массив, выше которого стволы, оставшиеся на воздухе, полностью истлели). «Законсервированные» стволы имеют прекрасно сохранившийся древесный рисунок, но вся структура характерна для высококачественных углей. Налицо полное метасоматическое замещение растительной ткани новообразованным углем, что аналогично известному процессу окремнения древесины (с тем отличием, что заполнение происходит не кремнеземом в виде опала или кварца, а углем, свидетельствуя, «что весь уголь отлагался с помощью флюида, способного проникать в растительные остатки»⁶).

Вертикальное положение недеформированных стволов показывает, что процесс замещения происходил, когда деревья были живыми и что угольный пласт в дальнейшем не сокращался в объеме. О быстром формировании на поверхности крепких углей говорят и куски углей, вымытые из пласта и перенесенные на другую часть угольной залежи — подобные внутриформационные размыывы пластов описаны на Экибастузском и ряде других месторождений. Естественно, что над такими углями ожидать провеса кровли не приходится. Вероятным примером ныне зарождающегося угольного месторождения может быть известное асфальтовое озеро на о. Тринидад в Венесуэле поперечником 600 м, заполненное вязким битумом мощностью около 40 м.

Другой способ образования нефтяных углей — подземный. Агрессивные нефтеносные растворы сами вырабатывают емкость в тех породах, через

которые просачиваются. Одновременно в ней осаждается выпавшее углистое вещество, как это показано на примере Хасынского месторождения. Поскольку при метасоматическом замещении объем не меняется и осажденное вещество (в данном случае — уголь) сразу формируется в твердом виде, усадки кровли здесь не будет. При этом могут образоваться как жильные нефтяные угли, так и пластовые, залегающие «согласно» с вмещающими породами. Пластовая форма создается при избирательном метасоматозе тех осадочных горизонтов, которые по тем или иным особенностям (состав, пористость, обводненность и др.) наиболее податливы к замещению.

Таким образом, для нефтяных углей, возникших как на поверхности, так и под землей, прогиб кровли не характерен. Для углей же торфяной природы провес кровли неизбежен. Тем самым мы получаем простой и надежный признак, позволяющий различить угли нефтяного и растительного происхождения. Но если провесы кровли над угольными пластами нигде не наблюдались, то существуют ли растительные угли в природе?

⁶ Голд Т. Вклад в теорию abiогенного происхождения метана и других углеводородов земной коры // 27-й МКГ. Т. 13. М., 1984. С. 179—189.

Нефть ни при чем...

М. В. Голицын,
доктор геолого-минералогических наук
Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

ПРЕДПОЛОЖЕНИЕ о том, что уголь образовался из нефти, которая изливалась из недр и застыла в пониженных местах, высказывалось неоднократно, как в прошлом, так и в нынешнем веке. К перечисленным Е. Г. Песковым высказываниям о природе угля можно было бы добавить, пожалуй, наиболее оригинальное мнение одного карагинского горняка. Он считает, что метаморфизм угля шел не от бурого к антрациту, как принято

считать, а наоборот. Сначала из нефти образовался антрацит, превратившийся затем в каменный уголь, а последний уже — в бурый! На этом автор обрывает процесс углеобразования, не решаясь бурый уголь превратить в торф, а торф — в живые растения!

Вопрос о степени уплотнения торфа при переходе в уголь действительно окончательно не выяснен. Существуют крайние точки зрения вплоть до 20-кратного уменьшения объе-

ма. Думается, значительное уплотнение происходит еще до перекрытия торфа породами кровли. (В начале 40-х годов я работал на подмосковных торфоразработках, где торфяные кирпичи, по плотности близкие к землистому бурому углю, приходилось с большим трудом резать с поверхности специальной лопатой.)

Механизм уплотнения торфа и вмещающих пород, пожалуй, наиболее подробно и аргументировано осветил В. Н. Вол-

ков, ссылку на работу которого приводит Е. Г. Песков. Большое значение он справедливо придает самоуплотнению торфа до его погребения, когда мощность слоя торфа снижается в три-пять раз. Этот важный момент часто оставляют без внимания, что приводит к выводу об очень большом уплотнении торфа по сравнению с перекрывающими его породами. На самом же деле при переходе зрелого торфа в уголь он теряет 20—30 % (с 70 до 40—50 %) влаги, что сопровождается снижением мощности пласта в 1,5—2 раза. Близкое сокращение мощности (в 1,5 раза) характерно и для слоя перекрывающего торф глинистого осадка при толщине до 5 м, когда пористость его снижается с 80 до 40 %. При дальнейшем погружении осадка до глубины 1 км его пористость снижается с 40 до 25 % и продолжается его уплотнение.

Естественно, что торф уплотняется сильнее, чем глина, но разница эта не столь уж велика. Она заметна в редких случаях, например при формировании мощных линз угля в карстовых

впадинах, имеющих обычно ограниченные размеры. Чаше же всего мощность угольного пласта (первые метры, десятки сантиметров) несоизмерима с его протяженностью (десятки и сотни километров), и просадки кровли, о которых говорит Е. Г. Песков, нельзя зафиксировать. Ведь углы наклона угольного пласта и кровли будут разниться на несколько градусов или даже на их доли.

А главное, «эффект кровли» не дает ответа на вопросы, уже давно решенные с «органических» позиций.

Почему залежи нефти встречаются в породах возраста более 1 млрд. лет, а угля — только в молодых (с девона — 350 млн. лет), когда появились первые наземные растения? Как объяснить, что во многих бассейнах угольные пласты почти целиком сложены отчетливо различимыми и невооруженным глазом и сохранившими структуру фрагментами растений, спорами, кутикулой, смоляными телами и т. д.? Почему в угольных пластах многих бассейнов встречаются корни растений-

углеобразователей (стигмарий)? Как объяснить внедрение чужеродных «нефтеугольных» пластов по теории циклической седиментации, когда в разрезе многократно (сотни раз) отражена закономерная смена режимов осадконакопления? Как понять с «нефтяных» позиций разнообразные типы расщеплений угольных пластов? Шахтами и разрезами во многих бассейнах отработаны угольные пласты в тысячи квадратных километров. Почему же нигде нет подводящих каналов, по которым бы поступала нефть из недр?

Бесспорные ответы на эти вопросы свидетельствуют о торфяном происхождении ископаемого угля. А нефть тут ни при чем. Скорее можно утверждать обратное: уголь и горючие сланцы генерировали (и генерируют) в огромных масштабах природный газ и нефть. Недавно стал обсуждаться и вопрос о возможном влиянии на уже сформировавшиеся угольные пласты углеводородов, поднимающихся из земных недр. Но это уже совсем другая тема.

НОВЫЕ КНИГИ

Геология

Н. Е. Савва, В. К. Прейс. АТЛАС САМОРОДНОГО ЗОЛОТА СЕВЕРО-ВОСТОКА СССР. М.: Наука, 1990. 292 с. Ц. 3 р. 60 к.

Атлас иллюстрирует типоморфные особенности самородного золота. Описаны особенности металлогении региона, методические вопросы изучения золота, его признаки в различных геологических структурах, приведен комплекс минералогических критериев поисков россыпей и их коренных источников. Цветные и черно-белые фотографии дают представление о многообразии морфологии структур и минераль-

ных ассоциаций самородного золота и сопровождаются их подробными характеристиками.

Для геологов, минералогов, преподавателей и студентов геологических факультетов.

История науки

Л. М. Сонин. ЛЮДИ И КЛАДЫ. Очерки истории геологических открытий на Урале. Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1991. 272 с. Ц. 1 р. 50 к.

Геологические открытия, как и открытия в других сферах деятельности, вершатся подвижниками. Путь каждого из них самобытен, несет неповтори-

мый, бесценный опыт. Сведения о первооткрывателях залежей уральских недр рассеяны по множеству печатных и рукописных источников, порой просто хранятся в преданиях. Автор, ветеран уральской геологии, свел их в сжатые очерки, объединенные темой поиска различных полезных ископаемых на Каменном Поляе. Рассказано о становлении геологоразведочной службы на Урале, ее успехах и досадных промахах. На конкретных примерах показывается, насколько сложно и драматично изучение недр: некоторые очерки имеют почти детективный сюжет.

Древнее золото «60-й параллели»

А. В. Матвеев



Александр Васильевич Матвеев, кандидат исторических наук, заведующий лабораторией археологии и этнографии Западной Сибири Института проблем освоения Севера СО АН СССР (Тюмень). Занимается изучением западносибирских культур бронзового и железного веков.

С НАЧАЛА нынешнего века обсуждается вопрос о месте сбора Сибирской коллекции Петра I — хранящегося в Эрмитаже собрания из более чем 250 золотых художественных изделий сарматской эпохи (конец I тыс. до н. э. — первые века н. э.). Сторонники сибирского происхождения коллекции (впервые эту гипотезу обосновал А. А. Спицын в докладе Русскому археологическому обществу в 1901 г.) искали ее прародину в различных районах юга Западной Сибири и на примыкающей к ним территории Казахстана. Однако прийти к единому мнению ученым долго мешало отсутствие в курганах данного региона вещей, сопоставимых с изделиями из петровского собрания. Это же обстоятельство привело к тому, что появившаяся также в начале века «внесибирская» гипотеза происхождения коллекции с течением времени приобретала все новых и новых сторонников.

В 70-х и 80-х годах обнаружилось довольно весомые аргументы в пользу западносибирского варианта. Во-первых, исследования и новые архивные находки М. П. Завитухиной позволили установить, что основная часть коллекции — свыше 200 предметов — была собрана в Тобольске в 1715—1717 гг. и попала к Петру I от первого сибирского губернатора князя М. П. Гагарина¹.

Во-вторых, в 1981—1982 гг. в курганах Тютринского могильника на среднем Тоболе нам удалось обнаружить ряд ювелирных изделий, идентичных имеющимся в коллекциях Петра I и Николая Корнелия Витсена (о ней речь пойдет далее). Этот факт позволил впервые поставить вопрос об их связи с саргатской культурой раннего железного века (не отрицая при этом ни возможности происхождения части коллекции из погребальных сооружений других культур, ни вероятности импортного характера многих из составляющих ее предметов).²

Конечно, лучший способ убедиться в справедливости гипотезы — новые полевые открытия. Пока же способ ее проверки я вижу в сопоставлении ареала саргатской культуры, каким он вырисовывается в настоящее время, с данными о географии нахождения сибирского «бугрового» золота.

НА КРАЮ АЗИАТСКОЙ СКИФИИ

На протяжении последней четверти века саргатские памятники — неукрепленные поселения и городища (нередко очень крупные, с мощными оборонительными системами и сложной внутренней структурой), а также многочисленные курганные могильники, иногда поражающие своей грандиозностью, — исследуются в Сибири достаточно интенсивно. И хотя не все аспекты истории

¹ Завитухина М. П. // Культура и искусство петровского времени. Публикации и исследования. Л., 1977. С. 63—69; Она же // Археологический сборник Гос. Эрмитажа. № 18. Л., 1977. С. 41—51.

² Матвеев А. В., Матвеева Н. П. // Кр. сообщ. Ин-та археологии АН СССР. 1985. Вып. 184. С. 69—76; Они же // Антропоморфные изображения. Первобытное искусство. Новосибирск, 1987. С. 191—201.



Грандиозные саргатские курганы некогда являлись неотъемлемым атрибутом ландшафта западносибирской лесостепи.

Фото А. В. Матвеева



Золотые и серебряные серьги из саргатских погребений Тютринского могильника (I—II вв. н. э.). Почти всем типам этих ювелирных изделий соответствуют предметы из Сибирской коллекции Петра I и собрания Н. Витсена.

Фото В. К. Глазунова

саргатских племен полностью изучены, попытаемся все же охарактеризовать эту культуру.

На основе раскопок памятников начальной поры железного века в Барабинской лесостепи возникло предположение, что здесь около VIII—VI вв. до н. э. сформировалось ядро той культуры (или этноса), которая спустя несколько столетий распространилась почти по всей территории западносибирской лесостепи.

Саргатцы не были чистыми кочевниками, о чем свидетельствуют остатки долговременных стационарных поселений, состоящие из крупных полуподземных жилищ с деревянными полами, кости не только лошадей, но и крупного рогатого скота.

Обнаружены следы тесных хозяйственных и культурных связей саргатских групп со Средней Азией и еще более удаленными

областями. Множество импортных бус и иных украшений из шпинели, полудрагоценных и поделочных камней, стекла, фаянса и других материалов найдены в неразграбленных женских захоронениях. В погребениях и культурных слоях поселений нередко встречаются целые привозные станковые сосуды и их обломки чуждых для местного гончарства форм, а также довольно многочисленные кости верблюдов — следы устойчивой караванной торговли с южными областями. Не исключено, что саргатские племена контролировали и обращенные на юг торговые пути, по которым из таежных районов шел обильный поток пушныны. Все это говорит о том, что здесь, на северной периферии азиатской Скифии, в конце I тыс. до н. э. и первых веках н. э. существовала самобытная и яркая культура, для установления этнолингвистической принадлежности которой еще предстоит немало потрудиться представителям различных гуманитарных наук.

Основной массив памятников саргатской культуры расположен в лесостепной зоне Западно-Сибирской равнины от Зауралья (низовья Тавды, Туры, Пышмы, среднее и нижнее течения Исети) до Западной Барабы и отчетливо распадается на три района с наибольшей плотностью расположения поселений и могильников — Тоболо-Исетский, Приишимский, Иртышско-Барабинский, Междуречья Тобола, Ишима и Иртыша, где концентрация памятников резко падает, были, по-видимому, заселены саргатскими группами не так густо. По долинам названных рек саргатские памятники зачастую выходят даже в соседние — южнотаежные и степные — районы. Так, в Притоболье они известны от устья р. Куртамыш (более чем в 60 км южнее г. Кургана) до г. Тобольска, хотя находки из Тюковского и Потчевашских курганов — самых северных пунктов сбора саргатских материалов в данном районе — и несколько оторваны от основного ареала



Тютринский могильник. Стекланные бусы с золотыми пронизками.



Тютринский могильник. Ожерелье из шпинели и сердолика.

Савиновский могильник. Бронзовые браслеты.

Фото В. К. Глазунова

притобольских памятников данной культуры. По р. Ишим саргатские поселки и могильники обнаружены и южнее г. Петропавловска, и севернее г. Ишима, а по Иртышу тянутся на север до устья р. Тары.

Насколько же соотносятся между собой очерченный ареал и зона наиболее вероятного обнаружения предметов, вошедших в Сибирскую коллекцию? Для ответа на этот вопрос рассмотрим дошедшие до нас сведения о «бугровании» (ограблении курганов) на юге Сибири.

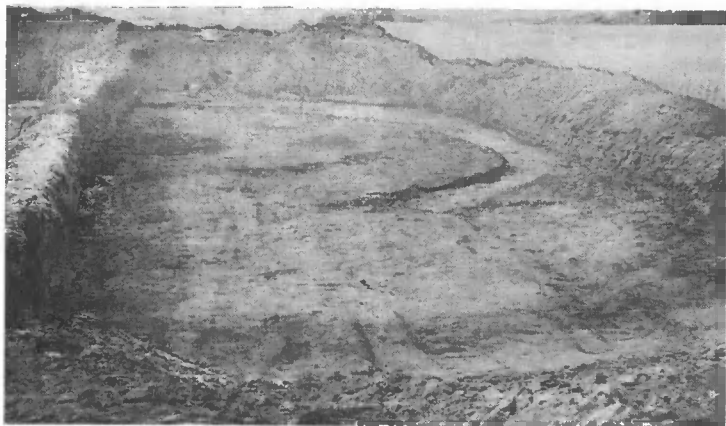
ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О «БУГРОВАНИИ» В СИБИРИ

Наиболее ранние сообщения об ограблении западносибирских курганов относятся к 60 годам XVII в. Так, известно, что в 1662 г. в Тобольске были биты кнутом татарин Канайко Бачиев и русский служилый человек Левка Хворов за то, что они ходили «на татарское кладбище в Саусканскую луку грабить могилы»³. Достоверных данных о наличии здесь, в излучине р. Иртыш ниже устья Вагая, саргатских курганов нет, хотя, памятуя об уже упоминавшихся находках у г. Тобольска, отрицать возможность их существования тут было бы тоже преждевременным. Более точно совпадает с территорией распространения саргатской культуры следующий отрывок, датированный 1669 г. Тогда в донесении царю Алексею Михайловичу из Тобольска сообщалось, что в «Тобольском уезде, около реки Исети и во окружности оной (здесь и далее выделено мною.— А. М.), русские люди в татарских могилах или кладбищах выкапывают золотые и серебряные всякие вещи и посуду». К 60-м



годам XVII в. относится и посещение России членом голландского посольства в Москве Н. К. Витсенем. Впоследствии, 4 ноября 1705 г., в одном из писем он напишет: «Много лет тому назад в Сибири, близ Тобольска, Тюмени, Верхотурья... и в других местах на ровной степи были вскрыты курганы, сначала случайно, а впоследствии умышленно, и в них были найдены склепы... Находились там остатки покойников, со всякого рода утварью, ушными привесками, браслетами, идолами, цепочками и металлическими кубками, серебряными и медными. Сначала крестьяне сохраняли это в тайне, но затем воеводы тамошние, из московитов, стали собирать эти вещи и, не находя в них ничего редкого, расплавляли их ради ценности материала». В вышедшей в том же году книге «Noord en Oost Tartarye» Витсен добавляет: «Недалеко от Тобола встречаются под горами особого рода весьма древние могилы, в которых, кроме костей покойников, была находима металлическая утварь из серебра, меди и железа. Г. Салтыков из такого найденного в могилах серебра велел сделать себе саблю, на память об этом замечательном обстоятельстве». Уже из этих, наиболее

³ Здесь и далее в этом разделе цитируется по работам В. В. Радлова, опубликованным в сб.: Материалы по археологии России. № 3, 5, 15. СПб., 1888—1894.



Раскопки саргатского кургана у пос. Абатский.

Фото Н. П. Матвеевой

Тютринский могильник. Саргатские сосуды I—II вв. н. э.

Фото В. К. Глазунова

ранних сведений о «бугровании» в Сибири, содержащих упоминания рек Тобола и Исети, городов Тюмени и Тобольска, следует, что богатство саргатских курганов Тоболо-Исетского района в конце XVII в. было хорошо известно искателям могильных сокровищ.

Активно велось «бугрование» на юге Западной Сибири и в начале XVIII столетия. Ф. И. Страленберг писал об этом времени в 1730 г.: «Могильные холмы (русские называют их «буграми») ... встречаются в большом количестве в Сибири и в степях, находящихся к югу от Сибири. Из них выкапывают различную утварь, урны, разные предметы, служившие для украшения тела и одежды, сабли, кинжалы, конские уборы, ножи, различные маленькие идолы и медали из золота и серебра. Находили даже в таких могилах целые золотые шахматы и большие пластины... на которых лежали трупы... В могилах бедных людей находят подобные же предметы из красной и желтой меди, наконечники стрел из меди и железа, стремени большие и маленькие, полированные металлические пластинки или зеркала с письменными знаками, маленькие и большие глиняные урны... Одним словом, из этих могил добывают большое количество курioзных древностей... 20 или 30 лет тому назад, когда об этом Русское правительство еще ничего не знало, начальники городов **Тары**, **Томска**, **Красноярска** ... **Исетска** и других мест отправляли вольные отряды ... из местных жителей для разведки этих могил и заключения с ними ... такое условие, что они должны были отдавать определенную либо десятую часть найденного ими золота, серебра, меди, камней и пр. Найдя такие предметы, отряды эти разделяли добычу между собою и при этом разбивали и разламывали изящные и редкие древности, с тем, чтобы каждый мог получить по весу свою долю».

В. В. Радлов отыскал в фондах бывшей Императорской Публичной библиотеки рукописный сборник, содержащий небольшую писаную скорописью XVIII в. заметку о раскопках в 1702 г. капитаном Федором Матигоровым по приказанию дьяка Андрея Виниуса кургана у слободы Бачанки при впадении Исети в Тобол. Из нее следует, что здесь были найдены «кувшинец медной... да яшмовый стаканец, еще ж китайское металлическое зеркальцо, в диаметре шириною вершка на три или малым более...», у последнего с одной стороны «еще места явились чистые, знатно что было зеркало... а на другой стране в первом округе травки, в другом характеры подобно китайским».

Продолжающееся ограбление курганов в ареале саргатской культуры в начале 1700-х годов особенно важно потому, что именно в этот период в руках первого сибирского губернатора князя Матвея Петровича Гагарина стали скапливаться сокровища, вошедшие впоследствии в состав Сибирской коллекции Петра I.

«ЗЕМЛЯ ДРЕВНИХ ПОКЛАЖ»

Петр I получил от М. П. Гагарина первые 10 древних золотых вещей в конце 1715 г. или в первые дни 1716 г. В ответ на последовавший наказ о приобретении подобных древностей Гагариным 12 декабря 1716 г. из Тобольска в Петербург была направлена вторая, значительно более крупная партия изделий. «По именному его царского величества указу, который писан рукою его царского величества, — сообщал Гагарин в письме тюменскому коменданту Воронежскому от 5 июля 1717 г., обнаруженном М. П. Завитухиной в Тобольском архиве, — древние



золотые и серебряные вещи, которые находятся в земле древних поклаж, всяких чинов людям велено объявлять в Тобольску и велено брать те вещи в казну великого государя и отдавать им за те взятые из казны деньги⁴. Это письмо интересно не только упоминанием самого раннего из указов Петра I о собирании древностей, подлинник которого остается неизвестным, оно свидетельствует о том, что Тюменский уезд рассматривался губернатором Гагариным как важный потенциальный источник поступления могильного золота. 28 октября 1717 г. в письме Петру I Гагарин сообщает об отправке в Петербург третьей⁵ посылки, в которой находились два серебряных и около 60 золотых предметов, а чуть позже по тому же пути направилась и четвертая, содержащая «4 круга серебряные старинные, в том числе 2 больших, на которых слоны, другие 2 малых, на которых подписи китайские или другие какие азиатские». Она, надо полагать, оказалась последней.

Учрежденная еще в 1717 г. комиссия приступила к расследованию дела о злоупотреблении властью первого сибирского губернатора. По указу Петра I он был арестован, вывезен в Петербург и отдан под суд, по приговору которого 16 марта 1721 г. и состоялась его публичная казнь. В ходе следствия Гагарин показал, что далеко не все могильное золото пересылалось им в Петербург. «...И то покупное золото, — свидетельствовал он, — которое куплено в 1717 г., которое фигурное, послано ко двору царского величества с денщиками и подъячими в разные посылки. А которое не фигурное и ломаные вещи переделывал я в другие

вещи. Делая судки и ножи, и вилки, и ложки, высылал к великой государыне Екатерине Алексеевне в том же 1717 г.»⁵

Таким образом, основная часть коллекции поступила в Петербург от Гагарина в течение менее чем трех лет. Правда, о районе сбора сокровищ документы прямо не говорят. Однако на весьма вероятную их связь с курганами саргатской культуры указывает не только уже упоминавшееся обращение Гагарина к тюменскому коменданту в 1717 г., но и посылка в 1712 г. во владения Успенского монастыря, что располагались по берегам р. Исети «знатоков, отставного драгуна Михаила Слободчикова и крестьянина Макара Лобова с товарищами для прииску, при вспоможении бобылей монастырских, золота, серебра, меди и иных вещей в недрах насыпей для казны государевой».

Вполне вероятно, что в состав этой коллекции впоследствии (до времени ее передачи в Кунсткамеру в 1727 г.) могли войти и другие вещи, происходящие с территории распространения саргатской культуры. Так, известно, что уже в 1721 г. в ответ на запрос князя А. М. Черкасского, сменившего Гагарина на посту сибирского губернатора, из столицы было разъяснено: «Куриозные вещи, которые находятся в Сибири, покупать сибирскому губернатору или кому где надлежит, настоящею ценою и, не переплавляя, присылать в Берг- и Мануфактур-Коллегию, а в оной потому же не переплавляя, об оных докладывать Его Величеству». Отправлял ли А. М. Черкасский в Петербург «куриозные вещи», а если да, то какие — точно не известно. Однако Г. Ф. Миллер во время своего пребывания в Сибири обнаружил в архиве г. Тары дело, датированное тем же, 1721 г. и содержавшее «Указ, коликое число всякого золота могильного и других курганных вещей в покупке в казну было и о присылке того золота и вещей в Тобольск; при оном указе отписка о посылке в Тобольск золота Тарским служилым человеком Федором Мясниковым».

ЗАГАДКА КОЛЛЕКЦИИ НИКОЛАЯ ВИТСЕНА

В начале XVIII в. сибирское «бугровое» золото поступало и в некоторые частные собрания. Одно из них принадлежало уже упомянутому бургомистру Амстердама Н. К. Витсену. Вещи, аналогичные предме-

⁴ Завитухина М. П. // Сообщения Гос. Эрмитажа. Вып. 39. Л., 1974. С. 34—36.

⁵ Завитухина М. П. // Культура и искусство петровского времени. С. 68.



Тютринский могильник. Амулет, изображающий Гарпократа (египетский фаянс).

Фото В. К. Глазунова

там из Сибирской коллекции Петра I, доставлялись к нему в Голландию, как это известно из его переписки с девентерским бургомистром Гинзбургом Купером, то «верным приятелем», которому привелось присутствовать при разрытии одного кургана, то посылками на протяжении многих лет вплоть до 1716 г. Судьба сокровищ Витсена после его смерти в 1717 г. до конца так и не ясна, и они остаются известными специалистам лишь по прекрасным гравюрам в третьем издании его книги, вышедшей в Амстердаме в 1785 г.

Можно с полным основанием присоединиться к сделанному еще в конце прошлого века Я. И. Смирновым заключению о том, что сходство вещей, поступивших в собрание Витсена и в Кунсткамеру, указывает на принадлежность тех и других к одному времени и одной области. Об этом говорит не только их общее стилистическое единство, но и почти полная тождественность ряда предметов из разных коллекций. «Иные из витсеновских вещей,— писал Я. И. Смирнов,— могли происходить даже из тех же самых могил, что и эрмитажные. Это с несомненностью может быть доказано относительно двух золотых, очевидно парных, блях Витсена и Эрмитажа (изображающих волка, обвитого змеей.— А. М.). Рисунок Витсена несомненно есть ... рисунок,

принадлежавший Витсену левой бляхи из той самой пары, правая бляха которой находится ныне в Эрмитаже».

Так где же располагалась та область, откуда в Петербург и Амстердам в начале XVIII столетия из Тобольска поступали сокровища? В одном из недатированных писем Витсен, вспоминая свой давний разговор с тобольским воеводой, сообщившим об имевшейся у него шпиге с серебряным эфесом, отлитым из найденных «бугровщиками» предметов, с сожалением констатировал, что «русские не любят древностей», и тут же добавил: «Но я могу указать на остатки целых городов и постройки в дебрях, где теперь нет ни людей, ни домов, а находятся только дикие звери». В другом же письме, датированном 10 января 1715 г., Витсен прямо указал, что «место находок сибирских редкостей (расположено) приблизительно под 60-м градусом северной широты».

Это важнейшее сообщение до сих пор не привлекало внимания исследователей, по-видимому, из-за того, что на современных картах 60-я параллель проходит по тем таежным западносибирским районам, где курганы уже, как правило, не встречаются.

Между тем Витсен известен не только как собиратель сибирских древностей, но и как картограф. Его руке принадлежит ряд «чертежей» европейских и азиатских владений России, среди которых наибольшей известностью пользуется так называемая «карта 1687 г.», опубликованная несколькими годами позже⁶. Один экземпляр этой карты (одной из первых, где на территорию Сибири и сопредельных с ней районов была нанесена градусная сетка) хранится и у нас в стране — в Государственной Публичной библиотеке им. М. Е. Салтыкова-Щедрина в Ленинграде. Оказалось, что 60-я параллель проходит на ней значительно южнее, чем на современных картах. К востоку от Урала она пересекает несколько рек: Синару, Исеть (выше по течению с. Исетского), Тобол (значительно южнее г. Ялуторовска), Иртыш (выше устьев его притоков Туя, Шиша, Уя, Тары и, по-видимому, даже Оми). Далее параллель Витсена выходит на территорию Барабинской лесостепи и через акваторию огромного озера Бараба (современное оз. Чаны) идет к верховьям Оби, изображенным на карте значительно менее точно, чем уже упомянутые районы. Таким образом, 60-я параллель Витсена оказывается приуроченной именно к лесостепной зоне Запад-

⁶ Атлас географических открытий в Сибири и в Северо-Западной Америке XVII—XVIII веков. М., 1964. № 33.

ной Сибири, где и размещается основной массив саргатских памятников.

ПО СЛЕДАМ «БУГРОВЩИКОВ»

С 20-х годов XVIII столетия поток золота из могил, шедший из Западной Сибири в казну и частные собрания, начинает ослабевать. По-видимому, к этому времени большинство курганов на прочно обжитой русскими территории края уже было разграблено и успех продолжал сопутствовать только тем, кто не страшился ради ценной добычи выйти за границы Сибири, в степь, рискуя в любой момент повстречаться с отрядами Казачьей Орды. О том же свидетельствует ряд документов, говорящих об участвовавших случаях столкновений «бугровщиков» с кочевниками в пограничных районах, что можно расценивать как новое явление в истории «бугрования». Эти трагические события послужили основанием для издания Тобольской губернской канцелярией указа от 27 сентября 1727 г., который строго запрещал «бугровщикам» выход за границу, а ослушавшихся повелел «бить батогами нещадно за то, что они ездили в степь без отпуска». На него ссылался новый сибирский губернатор И. Д. Чичерин, отвечая на запрос Екатерины II о том, почему прекратилось поступление в казну сибирских золотых вещей. Однако история «бугрования» в Западной Сибири на этом не кончается.

Важные материалы о нем собраны участниками организованных по замыслу Петра I академических экспедиций, и особенно Г. Ф. Миллером в 1733—1743 гг. От многих людей он узнал, что могилы на Тоболе, Иртыше, Оби и Енисее грабили уже с начала XVIII в., когда «калмыки и киргизы, кои набегами своими оные страны беспрестанно беспокоили, оттуда удалились» и что «самые богатые могилы найдены при Волге, Тоболе, Иртыше и до реки Оби, посредственные — степях р. Енисей, а самые бедные — по ту сторону озера Байкал».

В 1770 г. по югу Западно-Сибирской равнины пролег путь академика П. С. Палласа. Им отмечены курганы у дер. Тютриной и оз. Песьяного (Пещаного) на р. Тобол, ряд могильников на р. Ишим. «Многие сказывают, — писал он о Пришимье, — что земли сии потому только так многолюдны стали, что жители соседственных уже издавна населенных областей слыша пользу, какую другие при взрытии могил находили, за оною сюда перейти польстились, да при том и не ошиблись, потому что сверх всего нашли и плодоносную землю, и прекрасные луга, и рыбу богатые ручьи и озера, и столько



Красногорский могильник. Золотая бляха с изображением свернувшегося хищника.

Фото В. К. Глазунова

места, сколько каждому потребно было. Здесь почти и самой последней курган не остался в целости, хотя мне некоторые и казались быть невредимыми; но как я приказал осмотреть, то увидел, что все в оных взрыто и кости мертвых лежали по поверхности земли разсеяны. Сказывают, что в здешних могилах нередко находили около головы и груди плющенное золото и серебро, что мне уже и у Тобола слышать удалось». В былом, да и не только былом богатстве описанных Палласом курганов, как в саргатской принадлежности подавляющего большинства из них, мне не раз пришлось убедиться в ходе раскопок, проводившихся в тех самых пунктах, которые были отмечены ученым.

Таким образом, анализ истории сибирского «бугрования» не только не противоречит гипотезе о происхождении по крайней мере части Сибирской коллекции Петра I из саргатских курганов, но и укрепляет ее. Вместе с уже отмечавшимися находками богатых саргатских захоронений на р. Тобол и в других районах западносибирской лесостепи это заключение может послужить основанием для существенного изменения наших представлений об истории саргатского населения, его связях, социальной жизни и искусстве.

Зоогеография прибрежных островов Вьетнама

И. С. Даревский,
член-корреспондент АН СССР
Зоологический институт АН СССР
Ленинград

А. Г. Пономаренко,
доктор биологических наук
Палеонтологический институт АН СССР
Москва

Г. В. Кузнецов,
кандидат биологических наук
Институт эволюционной морфологии и экологии
животных им. А. Н. Северцова АН СССР
Москва

НЕОБХОДИМОСТЬ сохранить все нынешнее разнообразие животных и растений на нашей планете подчеркнута во «Всемирной хартии о природе», принятой Генеральной Ассамблеей ООН в 1984 г. Теперь уже совершенно ясно, что если не стремиться к этому, генофонд многих живых существ может исчезнуть безвозвратно под натиском человеческой деятельности и биота Земли обеднится. Понятно также, что устойчивость природных экосистем обеспечивается всем огромным множеством составляющих их организмов.

Человек же, создав агроэкосистемы из немногих полезных растений, вынужден сам поддерживать их существование: регулировать поступление питательных веществ, затрачивать огромные усилия на борьбу с сорняками, вредителями и возбудителями болезней. Ныне, когда природные ландшафты все больше подвергаются хозяйственным преобразованиям, долг естествоиспытателей изучить не только сами естественные экосистемы, но и их изменения под действием как природных, так и антропогенных факторов, чтобы разработать научные методы, которые позволили бы сохранить разнообразие флоры и фауны.

Сейчас из-за деградации окружающей среды естественные ландшафты превращаются во все уменьшающиеся островки среди океана измененных территорий, поистине уподобляются настоящим островам. Именно поэтому изучение их живого мира позволяет познать общий характер изменений, происходящих и на «материковых островах». Действие любых факторов на природных островах сказывается сильнее и быстрее, чем на материке, а потому они нагляднее и легче для исследований. Подбирая острова разного размера и удаленности от материка,

можно в известной степени заменить изучение процессов, растянутых во времени, сравнительным исследованием островов. А выигрыш во времени сегодня очень важен.

Нам пришлось участвовать в работе 11-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Александр Несмеянов», организованного Тихоокеанским институтом географии ДВО АН СССР. Цель рейса — комплексно изучить прибрежные острова Вьетнама: исследовать их физико-географические характеристики, почвы, растительный и животный мир, особенности природопользования. Предполагалось также дать некоторые природоохранные рекомендации. Животных изучал зоогеографический отряд из 12 человек, среди которых были энтомологи, протистолог, герпетолог, маммологи и орнитолог. В работе участвовали как советские, так и вьетнамские специалисты. С некоторыми результатами, относящимися в основном к амфибиям, рептилиям, млекопитающим и насекомым, нам, специалистам по этим группам животных, и хотелось бы познакомить читателей.

Исследование жизни на островах всегда привлекало естествоиспытателей и имело большое значение для формирования научной картины мира. Достаточно вспомнить Галапагосские о-ва, животный мир которых послужил Ч. Дарвину для создания учения об эволюции путем естественного отбора. Особенно оживились такие работы после того, как в 60-х годах Р. Макартур и Е. Вильсон разработали теорию «равновесной» островной биогеографии¹. По этой теории, с увеличением числа видов на острове вероятность вселения новых снижается, а вымирания уже

¹ Macarthur R. H., Wilson E. O. The Theory of Island Biogeography. Princeton, 1967.

обитающих видов растёт, пока скорости иммиграции и вымирания не придут в равновесие. В дальнейшем состав островного населения будет меняться за счёт появления новых видов, но их число сохранится примерно постоянным. При этом видовое богатство на острове из-за его изоляции всегда меньше, чем на материковой территории, сходных размеров и разнообразия условий.

На материке любое снижение численности легко компенсируется благодаря переселению видов с окружающих территорий. Число видов, обитающих на острове, зависит от его размеров и разнообразия условий на нем (которое определяет интенсивность вымирания), а также от расстояния до источников иммиграции. С уменьшением размера острова разнообразие биоты снижается весьма быстро, так как эта зависимость не линейная, а степенная. Трудности восстановления утраченного видового богатства за счёт иммиграции делает островную биоту гораздо более подверженной влиянию неблагоприятных внешних факторов (как естественных, так и искусственных, антропогенных), чем материковую. Относительно низкое разнообразие на островах может компенсироваться более высокой, по сравнению с материком, плотностью популяций некоторых видов, а отдельные виды могут расширять свою экологическую нишу, т. е. встречаться в несвойственных им на материке биотопах, потреблять необычную пищу.

Предложенный авторами «равновесной» теории способ анализа островных фаун весьма широко распространился в разных областях, вплоть до стратиграфических последовательностей ископаемых остатков. Чаще всего он стал применяться в планировании охраняемых территорий, поскольку они, в сущности, представляют собой островные экосистемы.

Эти попытки, как и вообще теория «равновесной» биогеографии, часто и не всегда заслуженно критиковались. Упреков в том, что этой теорией недостаточно учитывается разнообразие экологических условий на островах, было больше всего, хотя в действительности различия в неявной форме учитываются поправочными коэффициентами. Чтобы понять, соответствуют ли реальные ситуации предсказаниям «равновесной» или «реликтовой» (биота островов — остаток, реликт в прошлом географически широко распространенных видов) теории, предпринимались довольно многочисленными исследованиями островов. Так, американские специалисты провели серию работ по островам Калифорнийского залива и показали, что ни та, ни другая теория не мо-

жет претендовать на монополию в островной биогеографии, а должны использоваться в качестве взаимно дополняющих².

При изучении вьетнамских островов нам представилась возможность проверить состоятельность обеих теорий и выводов американских исследователей.

За время экспедиции мы посетили восемь прибрежных островов — от архипелага Байтылонг в Тонкинском заливе на северо-востоке до островов Сиамского залива на западе. Все они расположены недалеко от материка на мелководном шельфе (глубины менее 50 м) и изолировались, видимо, не ранее голоцена. Во время оледенений шельф обсыхал, и многие достаточно подвижные животные могли попасть с материка на острова, но фауна на них могла развиваться и самостоятельно, т. е. изолированно от него. Сравнительный анализ фаун островов дал бы возможность определить, какой же все-таки теории соответствует их фауна — «реликтовой» или «равновесной».

В архипелаге Байтылонг о. Донгкхо (Бамун) — довольно большой (20 км²) и высокий (306 м) — сложен плохо удерживающими воду песчаниками, поэтому сеть водотоков на нем развита слабо. Остров покрыт густым лесом, в котором широко распространены лавровые, буковые и бобовые. И лес, и фауна сильно отличаются от таковых на более южных островах из-за влияния зимнего североазиатского антициклона. На Донгкхо животные, в том числе крупные, довольно разнообразны: здесь встречаются два вида оленей — замбар (*Cervus unicolor*) и мунтжак (*Muntiacus muntjak*); кабан (*Sus scrofa*); из обезьян — макак резус (*Macaca mulatta*); два вида хищных млекопитающих из семейства виверровых — мангуст (*Herpestes urva*) и малая циветта (*Viverricula indica*) — и один вид кошачьих — бенгальская кошка (*Felis bengalensis*), а также выдра (*Lutra lutra*).

Фауна древесных млекопитающих, птиц, рептилий и амфибий беднее материковой, плотность же населения крысы (*Rattus fulvipes*) и некоторых ящериц (из родов *Scinella* и *Mabuia*) существенно выше, чем на материке. Даже за время краткого пребывания на острове мы обнаружили китайского длинноногого сцинка (*Eumeces chinensis*) — вид, который редок на материке. Разнообразие же насекомых поразительно: муравьев, например, более 70 видов. Ни на одном другом из изученных нами островов мы не встречали такого обилия. Но зато на Донгкхо нет крупных купольных тер-

² Island Biogeography in the Sea of Cortez / Case T. J., Cody M. L., eds. San Diego, 1983.



Дикie заросли в низменных частях о. Тям постепенно вытесняются полями, места обитания белок исчезают.

Здесь и далее фото А. Г. Пономаренко



Место выжженного леса на о. Тям заняли вьюнок и папоротник-пиана.

митников, здесь термиты живут в земле и древесине.

Своим составом фауна острова сильно отличается от фауны других островов, ее богатство обусловлено разнообразием ландшафтов, различающихся прежде всего степенью влажности. Изменение фаунистического состава за счет антропогенного воздействия здесь не очень велико, так как постоянных жителей немного, а повторные миграции животных на Донгкхо по цепи островов архипелага легки.

Еще один изученный остров — Тям — находится близ середины вьетнамского побережья, размером он похож на Донгкхо, но выше (более 500 м). Тям сложен горами и пересечен многочисленными постоянными водотоками. Так как остров расположен у южной границы влияния зимнего антициклона, сухой сезон не очень выражен. Типично тропические леса из баррингтонии, сизигиума, калиуфлорных фикусов сильно нарушены человеком, в прибрежной части фактически сведены полностью, и ныне на их месте растут в основном лианы, вьюнки и папоротники. Правда, выше по склону леса сохранились, и даже густые, но в них лишь молодые, часто образовавшиеся из поросли от пней деревья. Более старый лес, не исключено, что тоже вторичный, расположен на больших высотах.

Антропогенные изменения на острове сильны, и, видимо, начали сказываться давно. Разнообразие позвоночных резко сокращено, копытных и хищных зверей нет вовсе, зато плотность популяции ящериц мабуй, а из млекопитающих — белки (*Callosciurus flavimanus*) и особенно крысы (*Niviventer*

cf. cremoriventer) исключительно высока, даже больше, чем на Донгкхо. Но насекомые не столь разнообразны, как на последнем: мы обнаружили только 44 вида муравьев, однако это все же больше, чем на островах, лежащих к югу от Тяма. На этом довольно крупном острове с постоянными водотоками и значительным разнообразием ландшафтов фауна резко обеднена по сравнению с материком, что тем не менее не связано с антропогенным влиянием.

Острова Кондоршон возле юго-восточной части вьетнамского побережья — самые южные из тех, где мы были. Поскольку они возникли в результате эрозии интрузивного купола, продукты разрушения гранитоидов хорошо удерживают влагу и обеспечивают существование постоянных водотоков. Мы работали на двух соседних островах: самом большом — Кондао (около 60 км², 600 м высотой) и маленьком — Байкань (6,5 км², 323 м), отделенном от первого менее чем километровым проливом. Кондао заселен давно, и леса сохранились лишь в горах, Байкань же покрыт лесами до самого берега. В нижней части склонов они листопадные, больше всего в них птероспермума. Выше идут вечнозеленые леса, в которых наиболее обычны бухонани, ортолобиумы, сизигиум, гарциния. В этих старых высокоствольных многоярусных лесах встречаются огромные деревья с мощными корнями, похожими на доски.

Несмотря на обширность и сохранность девственных лесов, фауна Кондао крайне бедна: крупных млекопитающих нет, но белка Финлейсона (*C. finlaysoni*) и малая цивета очень многочисленны, как и ящерица



Небольшие мангровые заросли на о. Байкань, за узким проливом — о. Кондао. Лысые горы на нем — результат деятельности человека.



О. Кондао. Фигус с плодами на стволе. Это характерная особенность тропического леса.

Calotes emma (на Байкане ее еще больше). Интересно, что на Кондао разные виды пресмыкающихся привязаны к определенной высоте, т. е. в их распространении прослеживается вертикальная зональность. Так, в прибрежной зоне преобладает калота, от подножия до 100-метровой высоты — геккон *Chamaspis boulengeri*, еще выше — мабуя (*M. multifasciata*), затем — мелкий лесной сцинк (*Scincella rufocaudata*), в привершинной части — червеобразная ящерица *Dibamus smithi* и слепозмейка *Typhlops diardi*. Удивительно, что фауна Кондао и Байканя, разделенных узким проливом, значительно различается, лишь немногие виды обитают на том и другом острове; даже среди муравьев, разнообразие которых на Кондао гораздо больше, чем на Байкане, некоторые виды встречаются только на последнем. Так что разный состав фауны нельзя объяснить только меньшим размером и, соответственно, большим обеднением ее на Байкане. Наличие разных видов на этих двух островах свидетельствует в пользу довольно высокой иммиграции их фауны с материка и, следовательно, подтверждает предсказания «равновесной» теории. В ее же пользу свидетельствует и меньшее видовое богатство животных на Байкане, в этом сыграл свою роль небольшой размер острова.

Остров Тхотю — самый западный из исследованных и наиболее удаленный от материка (на 140 км) — находится в Сиамском заливе. Он чуть меньше Тяма (около 12 км²), вдвое ниже его и имеет плоскую вершину. В низинной части четко прорезаны речные долины, но постоянных водотоков нет. Остров сильно изменен человеком, леса



Калот, или древесная агама, — очень многочисленна на Байкане и Кондао.

Фото И. С. Даревского

почти сведены, остались лишь отдельные деревья — огромные ирвингии — и низкий вторичный лес из протокса, илона, сизигиумов, гарциний. На деревьях и обрывах центрального плато множество эпифитных папоротников и орхидей. Здесь очень сухо, хотя осадков выпадает около 2000 мм в год, но только меньше 10 % — в сухой сезон. Тем не менее листопадных деревьев почти нет.

Животное население сильно обеднено по сравнению с материком и другими островами: крупные млекопитающие отсутствуют, многочисленны прекрасная белка (*C. inornatus*) и крысы (*N. fulvescens*, *R. spp.*), а также рептилии, особенно гекконы и сцинки (мы нашли здесь зеленого древесного сцинка из рода *Dasia*, ранее никем не обнаруженного во Вьетнаме, и новый вид геккона из рода *Cyrtodactylus*); встречаются бенгальский варан (*Varanus bengalensis*) и сетчатый питон



О. Донгkho. Прибрежная растительность, сильно нарушенная человеком, — типичное место обитания крыс.

Фото А. Г. Пономаренко

(*Python reticulatus*), но более мелкие, чем на материке. Бедны видами и насекомые, даже муравьев мы обнаружили только 26 видов — меньше, чем на любом из изученных островов. Интересно, что на свет яркой лампы в ночное время нам удалось собрать много самцов сетчатокрылых наллахиин — представителей группы, обычно встречающейся на Американском континенте (немногочисленные находки наллахиин в Азии считались недостоверными).

Наконец, последний остров — Тхом — самый маленький и низкий (107 м) — расположен у южной оконечности крупного о-ва Фукуок. Здесь еще суше во время сухого сезона, чем на Кондао и Тхотю, остров сильно заселен, и леса фактически все вырублены. Место многих из них занято плантациями кокосовых пальм, манго и хлебного дерева. Сохранились лишь кустарниковые и подростовые заросли. Из млекопитающих на Тхоме водятся только крысы и два вида летучей лисицы, видовое разнообразие пресмыкающихся мало, но они очень многочисленны, особенно ящерицы мабуи и лесной сцинк *Sphenomorphus maculatus* — его мы насчитывали до пяти-шести особей на 100 м². Насекомых немного, за исключением термитов, которые строят здесь громадные земляные термитники, и муравьев (больше всего экофилл), фактически полностью контролирующих жизнь всех насекомых острова. На километровом маршруте мы встречали до 40 висячих, построенных из листьев, гнезд

муравьев этого вида. Они культивируют цикадок, дающих сладкую падь и под охраной муравьев достигающих очень высокой плотности популяций. На некоторых деревьях манго цикадки совершенно высасывали соцветия и часть листьев. Из двукрылых и перепончатокрылых больше всего активно летающих форм: ктырей, жужжал, роющих и дорожных ос.

Если проанализировать распространение по островам разных животных (большинство млекопитающих, рептилий, клопов, цикад, многих жуков и других насекомых), острова можно разделить на две группы — архипелаг Байтылонг и все остальные. При таком делении главная зоогеографическая граница будет фактическим продолжением границы, которую проводят на континентальном Вьетнаме (севернее Дананга). А это указывает, что при разнящемся климате на состав животного мира влияет главным образом близость континента, откуда животные перемещаются на острова. Следовательно, их фауна — это результат равновесия миграции и вымирания, специфически островное население при такой близости материка не складывается.

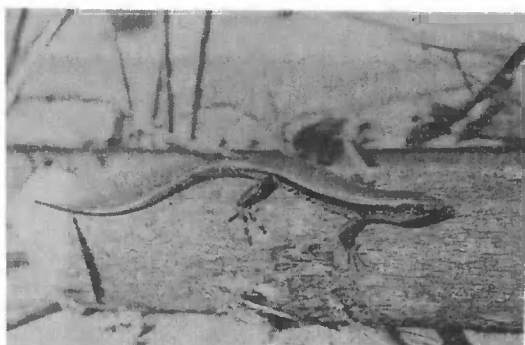
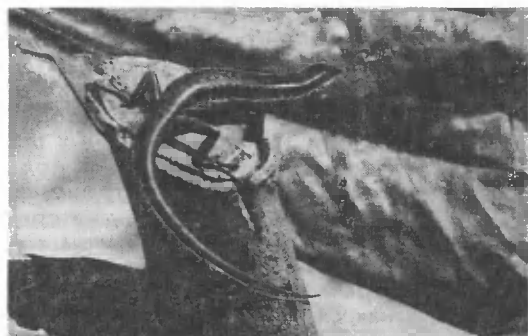
Фауна прибрежных островов оказалась по меньшей мере на порядок беднее материковой. Число видов, найденных только на островах, ничтожно, но не исключено, что даже и они существуют на материке, но пока там не найдены, ибо Вьетнам вообще мало изучен. Преимущественно материковый характер фауны связан не только с относительно недавним, плейстоценовым, соединением островов с материком, но и со значительным влиянием последующего пересе-



Плнтации кокосовой пальмы — характерное место обитания гекконов на о. Тхотю.

Многочисленные на Тхоме пятнистый клиноголовый сциии (слева) и многополосая мабуя.

Фото И. С. Даревского



ления на них животных. Поскольку иммиграция могла быть одной из причин пестроты животного населения островов, наблюдаемая картина лучше объясняется «равновесной» теорией островной биогеографии.

Известно, что характер островных фаун во многом определяется усилением воздействия на животное население неблагоприятных факторов: климатических, почвенных и особенно антропогенных. Так, во время сухого сезона активность и разнообразие животных снижаются на островах гораздо больше, чем на материке. При этом сильнее действует не общий дефицит влаги, а неравномерность выпадения осадков. На южных островах, где общее количество осадков велико, но сухой сезон продолжителен и резко выражен, фауна заметно дефектнее по сравнению с северными, хотя осадков там меньше, но зато сухой сезон более влажен.

Богатство животного мира на островах прямо зависит и от обилия разных ландшафтов, а оно, в свою очередь, — от высоты острова и способности почвы удерживать влагу. При прочих равных условиях на гранитных островах она удерживается гораздо лучше, чем, например, на сложенных песчаником. Еще один фактор, влияющий на фаунистический состав, — наличие постоянных водотоков, от которых зависит разнообразие биотопов: на тех островах, где их больше, богаче и видовой состав животных, и наоборот.

Его обеднение на островах сказывается в первую очередь на животных высших трофических уровней: сокращается численность и исчезают вовсе хищники и паразиты в самых разных группах организмов. Так, ни на одном из островов, за исключением Донгkho, нет ни хищных млекопитающих, ни плотоядных жуужелиц, очень мало питаю-



Гигантские иррингии — последние остатки первичного тропического леса на о. Тхотю.



Сетчатый питон на о. Тхотю. Здесь половозрелые особи мельче, чем на материке, — так сказывается эволюция в островных условиях.

Фото И. С. Даревского

щихся ящерицами змей, тогда как сами ящерицы весьма обильны; бедны видами и численностью паразитические перепончатокрылые и двукрылые, искодовые клещи.

Сокращение на островах разнообразия во многих группах животных компенсирует-

ся повышенной численностью сохранившихся видов, плотность их популяций может быть гораздо выше, чем на материке. Это явление принято называть компенсацией и сверхкомпенсацией. Из млекопитающих она особенно заметна на крысах и белках; из рептилий — на ящерицах; из насекомых — на жуках, муравьях и некоторых других видах. Даже весьма редкие на материке виды бывают многочисленными на островах. Интересно, что этот эффект наблюдается как на мало измененных человеком островах (Байкань), так и на сильно нарушенных хозяйственной деятельностью (Тхом). Следовательно, компенсацию нельзя объяснить только тем, что на островах сохранились естественные биотопы, которые на материке изменены человеком.

Некоторые виды млекопитающих и насекомых реагируют на островное обитание расширением экологической ниши: например, жуки-навозники на материке антропофильны, т. е. обитают по соседству с человеком, а на островах заселяют лесные биотопы.

Существенная миграция делает малозаметными результаты эволюции в островных условиях. Тем не менее некоторые ее черты просматриваются. Так, уменьшились размеры половозрелых особей некоторых ящериц и змей на Тхотю, в островных популяциях (например, ночных гекконов рода *Cyrtodactylus* на Тхоме) распространились редкие или вообще отсутствующие у материковых представителей признаки. В этом, видимо, сказывается действие «принципа основателя» — сохраняется и распространяется редкий признак, случайно оказавшийся у первых попавших на остров основателей популяции.

Таким образом, несмотря на общий материковый характер фауны вьетнамских прибрежных островов, заметен и результат действия разнообразных островных эффектов: наличие на многих южных островах эндемиков подвидового и видового ранга среди рептилий, млекопитающих и других групп позвоночных и беспозвоночных животных. Большинство наблюдаемых особенностей соответствуют предсказаниям «равновесной» теории, даже с учетом разнообразия островных биотопов, обычно в рамках этой теории не рассматриваемого. Повышенная чувствительность островной фауны к разного рода воздействиям делает острова удобными моделями для разработки теоретических вопросов организации охраняемых территорий — своеобразных островов природы среди океана преобразованных человеком ландшафтов.

Волчегородник боровой — реликт европейской флоры

В. И. Мельник,

кандидат биологических наук

Центральный республиканский ботанический сад АН УССР
Киев

ВОЛЧЕГОРОДНИКИ — это кустарники, реже деревья из семейства волчегородниковых (Thymelaeaceae) с красивыми тонкого аромата цветами. Растут они в субтропических и умеренных широтах Евразии, преимущественно в Юго-Восточной Азии, Гималаях, Иране и Средиземноморье. В мировой флоре насчитывается около 100 видов рода *Daphne*, 18 из них — в отечественной. Один из наиболее редких у нас — волчегородник боровой (*Daphne spoeum*) — вечнозеленый кустарничек высотой 20—50 см (изредка до 1 м), густо покрытый мелкими кожистыми листьями. В мае — начале июня (иногда повторно в августе — сентябре) на концах стеблей распускаются нежные розовые или вишневые цветки, собранные в соцветия в виде головок, и тогда живые ковры цветущего волчегородника украшают леса и степные склоны, наполняя воздух сильным приятным ароматом.

Ареал этого растения сильно фрагментирован. На Восточно-Европейской равнине это три удаленные друг от друга территории: Воыно-Подолія и запад Украинского Полесья; Приднепровье и Среднерусская возвышенность. Отдельные популяции имеются также в Белоруссии и Брянской области.

Известный русский ботаник В. Б. Козо-Полянский описал растущий на Среднерусской возвышенности волчегородник как самостоятельный вид (*D. julia*), так как он отличался от *D. spoeum* меньшими размерами (5—15 см), опадающими на зиму листьями, большим коли-



Волчегородник в цвету.

Фото К. Д. Стародуба

чеством цветков в соцветии (15—20), темной (вишнево-красной) окраской цветков, большей продолжительностью жизни (до 200 лет) и некоторыми други-

ми признаками. Однако позднее Ю. Д. Клеопов, а затем Г. Э. Гроссет обнаружили значительную изменчивость этих признаков в других популяциях вида. Вместе с тем польский ботаник Ю. Мотыка считал, что и на Подольской возвышенности по меловым обнажениям и степным участкам произрастает вол-



Ареал волчеягодника бороового.

чаягодник Юлии. Здесь он по сравнению с лесным видом — волчеягодником бороовым — более светолюбив и нуждается в кальции, следовательно, условия произрастания *D. julia* на Подолии и Среднерусской возвышенности аналогичны, в обоих регионах вид входит в состав луговых петрофитных степей формации низкой осоки. Очевидно, правильное все же считать его экотипом волчеягодника бороового, сформировавшимся в сходных условиях двух удаленных друг от друга возвышенностей.

В целом волчеягодник бороовой — вид светолюбивый, его лесные популяции на Восточно-Европейской равнине приурочены к светлым сосновым и дубово-сосновым лесам, а в западно-европейской части ареала — к соснякам и луговым степям; на территориях, прилегающих к Атлантическому океану и Средиземному морю, встречается в зарослях вереска, в горах Европы — на сухих склонах субальпийского пояса.

Ботанико - географические и палеонтологические данные свидетельствуют, что волче-

ягодник бороовой — реликт светлых (сосновых, секвойевых, кедровых) субсредиземноморских лесов Европы, существовавших в неогене. В те времена ареал вида был шире современного, судя по находкам ископаемых остатков волчеягодника в Тамбовской области. Оледенениями ареал был разорван, вид сохранился в отдельных не покрытых льдом убежищах — в Альпах, Пиренеях, Карпатах (за исключением Украинских), на Балканах, Волыно-Подольской и Среднерусской возвышенностях в составе перигляциальной растительности. Из этих центров волчеягодник вторично расселился по прилежащим территориям в послеледниковье. Так, из Пиренеев он проник на юго-запад Франции, из Карпат — на равнины Польши и Румынии, из Волыно-Подолии — в Полесье и Приднепровье¹.

Однако разорванность современного ареала волчеягодника объясняется не только историей его изменений в ледниковье и послеледниковое время. Способствовали этому и особенности экологии вида. Как кальцефил, он может расти только на почвах, под которы-

ми залегают карбонатные породы. Этому требованию вполне соответствуют условия на Восточно-Европейской равнине, в Волыно-Подолии и Донецко-Днепровской области. Между последними залегают породы Украинского кристаллического щита, которые не отвечают экологическим требованиям волчеягодника и служат барьером для его сплошного распространения. Приднепровский и среднерусский фрагменты ареала разделены центральной частью Донецко-Днепровской впадины, карбонатные отложения которой перекрыты мощной толщей песчаных и глинистых пород.

В Приднепровье волчеягодник растет на почвах, лежащих не прямо на карбонатных отложениях, а на толще (5—7 м) покрывающих их песков. Следует заметить, что и многие другие кустарники и травы известковых обнажений встречаются и на песках, если они не задернены и не затенены. «Наблюдая кальцефил на почве, почти лишенной CaCO_3 , можно заключить, что мнение о приуроченности его к известковым почвам ошибочно. А между тем этот кальцефил растет за счет ионов кальция в поглощенном комплексе», — писал известный эколог и фито-

¹ Аймприн Г. // C. R. Somm. Soc. Biogeographie. 1958. N 308. P. 82—99.

ценолог А. П. Шенников². К тому же в верхних песчаных слоях сосновых лесов Украины, по данным В. К. Мякушко и соавторов, в 20 %-ной вытяжке содержится 7,9 % гидроксида кальция.

Как и многие другие растения, связанные с меловым субстратом, волчегородник боровой в культуре хорошо растет на любой почве: очевидно, когда нет конкуренции с другими растениями, ему достаточно и очень небольшой концентрации ионов кальция. Более того, в некоторых местах Польши и Франции он растет на почвах, в которых эти ионы отсутствуют. В природе потребности организмов в кальции компенсируются химически близким стронцием, который, кстати, встречается и в карбонатных, и в кристаллических породах, и в осадочных отложениях. К кристаллическим и глинистым породам, лишенным извести, приурочен в Западной Европе подвид волчегородника борового, известный под названием *D. c. subsp. arbusculoides*.

В популяциях волчегородника преобладают стареющие особи, еще способные давать семена, но крайне редко встречаются молодые растения и всходы. Причина этого — низкая семенная продуктивность, обусловленная большим количеством недоброкачественной пыльцы. В результате, даже на обильно и неоднократно цветущих растениях плоды образуются крайне редко: в Полесье и Приднестровье мы насчитывали в соцветиях по 15—20 цветков, но лишь изредка встречали единственный плод на генеративном побеге (в Центральной

Европе плоды образуются только из 10—20 % цветков³).

Из-за низкого репродуктивного потенциала для волчегородника пагубны любые антропогенные нарушения тех мест, где он растет. Особенно опасны для него замещение аборигенных лесов искусственными и террасирование степных склонов. Там, где вырубаются леса, плотность его популяций сначала резко увеличивается, но волчегородник гибнет после механической обработки почвы под лесные культуры, ибо вероятность попадания семян и их прорастания крайне незначительна. Волчегородник хорошо известен не только декоративными качествами, но и лекарственными свойствами. Сбор для медицинских целей или букетов тоже истощает его ресурсы.

Регрессивные изменения происходят по всему ареалу волчегородника борового. За последние десятилетия уничтожено 8 его популяций на Украине, в том числе в окрестностях Киева. Еще в конце 70-х годов погибли многочисленные популяции в Загорской низменности (Словакия), возле городов Розвадув (Польша) и Кестхей (Венгрия). Из 95 известных местонахождений на земле Баден-Вюртемберг (ФРГ) уничтожено 36. Еще в 1969 г. оставалось всего несколько растений волчегородника в горах французской Юры, а в провинции Бургундия он исчез полностью.

Как редкий реликтовый вид волчегородник боровой внесен в «Красную книгу СССР» и Красные книги РСФСР, Украины и Белоруссии. Он находит-

ся под государственной охраной в Польше, Чехословакии, Венгрии, Румынии, Болгарии, Австрии, Швейцарии, Германии, Франции, Италии и других европейских странах. Но одним этим волчегородник не ограничишь — только забота о каждом местопребитании поможет избежать вымирания этого реликтового вида. К сожалению, ныне ни в одной стране не обеспечена охрана всех мест, где он встречается. В СССР волчегородник боровой охраняется в Центрально-Черноземном и Припятском заповедниках, в нескольких заказниках: Русско-Полянском (Черкасская область), который входит в состав проектируемого национального парка Большой Черкасский бор; на горах Белая, Лысая и М китра (Львовская область), Суском и заказнике Лысая гора (Ровенская область). К сожалению, в сеть природно-заповедных территорий Приднестровья входят очень немногие популяции этого растения, в левобережной части региона охраняемых территорий нет совсем, как и в Волынском Полесье. Чтобы сохранить генофонд вида на Украине, необходимо организовать заказники в Бориспольском районе Киевской области, Черкасском и Смелянском районах Черкасской области, Маневичском районе Волынской области.

Поскольку в сохранении этого реликтового вида в равной мере заинтересованы 16 европейских стран, необходима координация мероприятий и обмен информацией. Быть может, наступило время создать научно-природоохранное общество и фонд специально для охраны этого и других видов рода *Daphne*, подобно существующему, например, обществу изучения и охраны орхидей.

³ Witschel M., Seybold S. // Jh. Ges. Naturkde Würtf. 1986. Jahrgang 141. S. 157—200.

² Шенников А. П. Экология растений М., 1950. С. 224.

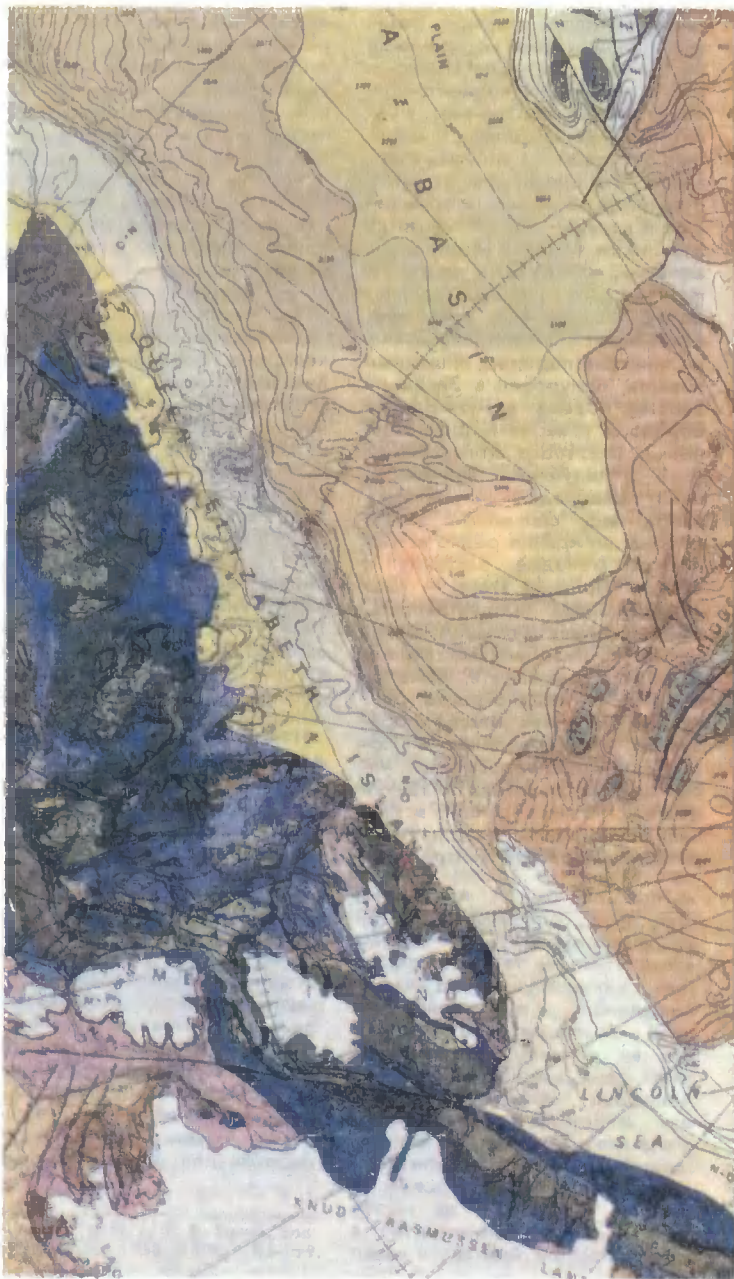
Геологическая карта Арктики

А. Е. Шлезингер,
доктор геолого-минералогических наук
Геологический институт АН СССР
Москва

В ПЕРВЫЕ по геофизическим, прежде всего сейсморазведочным, данным составлена геологическая карта дна Северного Ледовитого океана, увязанная с традиционной геологической информацией по суше¹. Она раскрывает достаточно сложное строение дна, принципиально отличающееся от смежных районов суши.

Эта карта — результат совместной работы советских и канадских специалистов. Она сопровождается кратким пояснительным текстом на русском, английском и французском языках, напечатанным прямо на карте. Географические названия транскрибированы по-английски. Стратиграфическая шкала не слишком дробна (подразделения не выходят за пределы нескольких десятков миллионов лет).

На дне Северного Ледовитого океана распространены в виде широких полос в основном относительно молодые кайнозойские образования, причем подводные котловины сложены преимущественно неоген-четвертичными породами, а подводные хребты — более древними (палеогеновыми) осадочными отложениями. Срединно-Арктический хребет (хребет Гаккеля), наоборот, состоит из молодых неоген-четвертичных вулканитов, тогда как в разделенных им подводных котловинах Амундсена и Нансена распространены осадочные образова-



¹ Окулич А. В., Лопатин Б. Г., Джексон Х. Р. 1989: Циркумполярная геологическая карта Арктики. Геологическая служба Канады. Карта 1765 А. Масштаб 1:6 000 000.

ния олигоцен-четвертичного возраста.

Подводный хребт Ломоносова разделяет Северный Ледовитый океан на два бассейна: Евразийский и Амеразийский. В первом из них были обнаружены линейные магнитные аномалии, и, следовательно,

этот бассейн связан с раскрытием океанического дна. Амеразийский бассейн, по мнению советских специалистов, подстилается преимущественно корой континентального типа, которая уже длительное время преобразуется в океаническую. Канадские же ученые считают, что

причиной образования этого бассейна был спрединг.

Новая геологическая карта значительно обогащает наши знания о строении океанов и облегчает разработку и проверку тектонических гипотез.



«Внутренняя карта» у рыб

В. Н. Михеев,

кандидат биологических наук
Институт эволюционной морфологии
и экологии животных им. А. Н. Северцова
АН СССР

ЗООЛОГИ давно обратили внимание на то, что в незнакомой обстановке рыбы некоторое время занимаются исследованием окружающего пространства. Когда же среда становится для них знакомой и привычной? Для изучения особенностей «исследовательского поведения» удобны слепые рыбы, воспринимающие внешние сигналы только боковой линией — системой расположенных вдоль тела каналов и рецепторов, которые улавливают колебания воды, в том числе отражение волн от неподвижных предметов. Исследователь из Германии Т. Тейке обнаружил, что эффективность боковой линии у небольшой пещерной рыбы семейства харациновых *Apoecilichthys jordani* связана со скоростью плавания¹. В новой обстановке, например в аквариуме непривычной формы, она плавает быстрее, причем строго вдоль стенок. Чем выше скорость плавания, тем сильнее гидродинамическая стимуляция рецепторов боковой линии, так что, исследовательская активность слепых рыб однозначно определяется направлением и скоростью плавания. У рыб, пользующихся наряду с боковой линией зрением, эта связь не столь очевидна и изучена хуже.

Спустя некоторое время рыба привыкает к аквариуму. Об этом можно судить по снижению скорости плавания до постоянного (фоновому) значения и по тому, что рыба начинает

осваивать всю площадь аквариума. При этом ее боковая линия не может обеспечить безошибочную ориентировку. Наблюдения, однако, говорят об ином: в знакомой обстановке слепые рыбы никогда не наталкиваются на препятствия и легко находят привычное место кормления, даже когда там нет корма². Можно предположить, что у них формируется нечто вроде «внутренней карты», по которой они могут определять свое местонахождение, выбирать маршрут движения и находить интересные предметы.

В серии экспериментов Тейке исследовал условия формирования и сохранения «внутренней карты» у *A. jordani*. Время, за которое создается «карта» нового аквариума, — несколько часов. Зависимости, полученные для разных рыб, оказались удивительно сходными, что дало возможность получить стандартную кривую, с которой сравнивали результаты последующих опытов.

Одним из первых, естественно, возник вопрос о том, как долго сохраняется «карта». Если рыбу переселяли из знакомого аквариума в другой на однодневное суток и затем возвращали обратно, скорость плавания, первое время повышенная, снижалась до фоновой гораздо быстрее, чем в незнакомом аквариуме. Очевидно, в течение этого времени рыба еще помнила «карту», но нуждалась в том,

чтобы ее обновить. Переселения уже на трое суток было достаточно, чтобы «карта» стерлась полностью.

Даже кратковременное резкое охлаждение или удар электрическим током может «стереть» ранее накопленную информацию. Когда слепую рыбу помещали в новый небольшой аквариум в форме прямоугольного параллелепипеда, она активно обследовала его 4—6 ч. Если через 4 ч рыбу охлаждали, помещая ее на 10 с в ледяную воду, она в дальнейшем исследовала его как новый, т. е. охлаждение начисто уничтожало «карту». Если же рыбу охлаждали не менее чем через 6 ч после начала исследования, ее поведение после этого оставалось прежним — повышения исследовательской активности не наблюдалось. Можно предполагать, что в интервале 4—6 ч полученная информация закрепляется и переводится из кратковременной в долговременную память, после чего стирается уже не так легко.

Если в знакомый аквариум поместить неизвестный для рыбы предмет, она начинает исследовать не только его, но и весь аквариум. «Карта», таким образом, не уточняется, а создается заново. Но насколько должна измениться обстановка, чтобы «карта» устарела, в каких случаях «карта» создается быстрее, в каких — медленнее, сколько времени тратит рыба на изучение аквариумов разной конфигурации? Оказалось, что разные по форме аквариумы одинаковых размеров обследуются практически за одно и тоже время — 8—10 ч. Кроме формы меняли

¹ Teyke T. // J. Comp. Physiol. 1988. V. 163A. P. 53—61; 1989. V. 164A. P. 655—662.

² Campenhausen C. von, Riess I., Weissert K. // J. Comp. Physiol., 1981. V. 143A. P. 369—374.

вид поверхности стенок, наклеивая на них небольшие полоски из оргстекла. Если при этом размеры аквариума заметно не менялись, время обследования было прежним. При заметном же изменении формы аквариума или прикреплении разного числа полосок справа и слева время создания «внутренней карты» сокращалось вдвое. Результат кажется парадоксальным — более сложная структура исследовалась быстрее. Тейке считает, что в симметричных аквариумах рыбе не хватает ориентиров.

Японский исследователь К. Ясуда, изучая в аквариуме траектории плавания слепых пещерных рыб *Amblyopsis spelaeus* обнаружил у них два типа поведения: одни рыбы плавали почти исключительно вдоль стенок, другие хаотично передвигались по всей площади аквариума. При этом рыбы первой группы успешнее находили корм и вырастали крупнее. Если и этот

вид использует «карту» при поиске корма, можно предположить, что у первой группы она совершеннее. Заклеивая непрозрачными дисками глаза золотым рыбкам *Carassius auratus*, Ясуда наблюдал, что после этого их скорость заметно возрастала. Это свидетельствует, вероятно, о повышении роли боковой линии. Траектория движения «ослепленных» золотых рыбок была такой же, как у слепых пещерных из второй группы³.

Слепые рыбы с их сравнительно простым поведением весьма удобны для экспериментального изучения ориентирования в пространстве. Но и наблюдения за зрячими можно интерпретировать с помощью представления о внутренней «карте». По данным В. Виклера, морская собачка *Blennius fluviatilis* может

найти привычное укрытие на знакомом участке даже после двухнедельного отсутствия⁴. Бычок *Bathygobius soporator* во время отлива находит кратчайший путь до ближайшей лужи, хотя видеть ее из-за неровностей рельефа не может⁵. Очевидно, плавая во время прилива, рыба запоминает местность, а при отливе пользуется созданной «картой».

Конечно, и изучая рыб, обладающих зрением, хорошо бы знать стандартную последовательность двигательных актов, чтобы по ней судить об их исследовательской активности. Экспериментальные работы в этом направлении нелегки, но это делает исследование поведения рыб еще более увлекательным.

⁴ Wickler W. // Z. Tierpsychol. 1957. V. 14. P. 393—428.

⁵ Aronson L. R. // Ann. NY Acad. Sci. 1971. V. 188. P. 359—377.

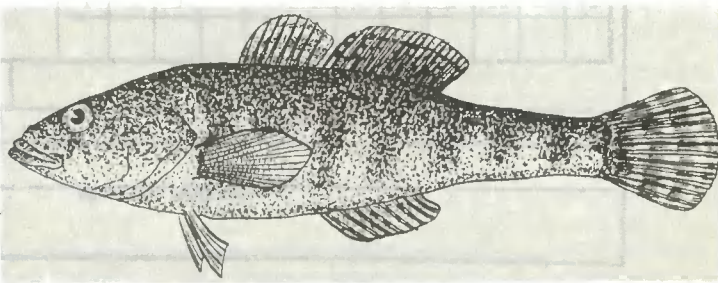
³ Yasuda K. // Comp. Biochem Physiol. 1973. V. 45A. P. 515—527.

Новая сорная рыба в Иссык-Куле

В. Н. Сорокин,
кандидат биологических наук
М. В. Конева

А. А. Сорокина,
кандидат биологических наук
Иссык-Кульский научный центр Киргизской ССР
Бишкек

О ЗЕРО Иссык-Куль — высокогорный (1608,5 м) солоноватый (5,89‰) водоем площадью 6300 км², объемом 1700 км³ и максимальной глубиной 668 м. Ландшафтное своеобразие и биогеографические особенности наложили свой



Элеотрис, появившийся в бассейне Иссык-Куля.

отпечаток на всю экосистему озера — неординарна его фауна вообще и ихтиофауна в частности.

По сведениям Ф. А. Турдакова, известного ихтиолога Киргизии, в озере обитает лишь 11 видов и подвидов аборигенных рыб. Наиболее многочислен чебачок, улов которого до 40-х годов достигал 1000 т (90—95 % общего вылова), и озера считалось чебачковым.

«Вирius» преобразования природы коснулся и Иссык-Куля. Кажущаяся легкость получения ценных (в потребительском смысле) видов рыб привела к существенному изменению состава ихтиофауны и деформации функциональных связей в самой экосистеме. Это происходило как при целенаправленном вселении некоторых объектов, которые должны были заменить малоценного чебачка и других рыб, так и при случайном завозе. Уже в 1930 г. в Иссык-Куль была выпущена форель-гегаркуни из оз. Севан, в 1958 г. вселен судак (из бассейна р. Урал), несколько позже чудской сиг (из оз. Севан), ряпушка и байкальский омуль. Качество местной ихтиофауны «улучшалось» и за счет таких видов, как карп, серебряный карась, линь и восточный лещ, которые, однако, все еще остаются малочисленными. Из рыбозаводного шведского садка в сере-

дине 80-х годов в воды озера при аварийной ситуации вышла речная форель.

Перевозка определенных видов рыб из разных регионов, как отмечалось во многих случаях, чревата доставкой и нежелательных объектов. Именно с интродуцированными белым амуром и толстолобиком в Средней Азии, и в частности в водоемах Чуйской долины Киргизии, оказались и стали обычными рыбы дальневосточного комплекса — змееголов, амурский чебачок, ротан, элеотрис, востробрюшки — обыкновенная и корейская.

В уникальный Иссык-Куль вместе с рыбами, имеющими достаточно высокие потребительские качества, случайно попали и нежелательные виды, например тот же амурский чебачок. Еще недавно его можно было обнаружить только в опресненных участках Тюпского залива, а теперь почти во всех притоках озера. Обычной стала полосатая быстрянка.

В марте 1990 г. в небольших северных притоках Иссык-Куля (район урочища Орто-Урюкты) мы обнаружили элеотриса — еще один новый для этого бассейна вид амурского комплекса рыб. В пресноводных водотоках шириной 3—5 м и глубиной до 0,5 м с быстрым течением, песчаным дном и зарослями высших водных расте-

ний этих рыб оказалось до 5—10 экз./м². Вспугнутые, они устремлялись во взмученную воду, затаивались на дне или вблизи любого предмета. Из-за светлорылой пятнистой окраски они были незаметны на песчаном грунте. Больше всего скопилось элеотриса в водных зарослях, где встречались и гольцы.

Элеотрис — мелкая рыбешка, длина тела (без хвостового плавника) 20—39 мм, масса — 158—1000 мг, по внешним признакам он мало отличается от типичного амурского элеотриса.

Близ ручья по урезу озерной воды на протяжении 50 м от его устья мы нашли около 60 погибших элеотрисов и 5 амурских чебачков. Скорее всего, причиной их гибели оказалась соленость озерной воды, а не разница температур в озере (4 °C) и ручье (8 °C). Как бы то ни было, наличие мертвых рыб свидетельствует, что озерная вода неблагоприятна для элеотриса и амурского чебачка, а значит, есть надежда, что они не смогут сильно размножиться в Иссык-Куле и не станут преобладать в его рыбном сообществе, как в водоемах Чуйской долины. Правда, не исключено, что элеотрис, этот новый «сорный» вид для бассейна озера, в ближайшие годы займет все его притоки.

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Отдавая себе отчет в том, что в эпоху перехода к рыночной экономике в нашей стране все меньше внимания и средств уделяется науке и изданиям, рассказывающим о ней, мы все же тешим себя надеждой, что вы сочтете возможным выкроить небольшую (по нынешним меркам) сумму, чтобы выписать «ПРИРОДУ» и на следующий год.

Подписная цена большинства периодических изданий значительно возрастает — мы же, рассчитывая в будущем увеличить объем журнала и повысить его оперативность и качество полиграфического исполнения, сохраняем ее неизменной.

Ф. СП-I	Министерство связи СССР „Союзпечать“		70707																								
	АБОНЕМЕНТ на журнал		(индекс издания)																								
	ПРИРОДА		Количество комплектов																								
	на 1992 год																										
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td> </tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </table>				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																
Куда		(почтовый индекс)		(адрес)																							
Кому																											
(фамилия, инициалы)																											
		ДОСТАВочная КАРТОЧКА																									
		70707		на журнал																							
		(индекс издания)																									
		ПРИРОДА																									
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>Стоимость</td> <td>подписки пересылки</td> <td>руб.</td> <td>коп.</td> <td>Количество комплектов</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td>руб.</td> <td>коп.</td> <td> </td> </tr> </table>			Стоимость	подписки пересылки	руб.	коп.	Количество комплектов			руб.	коп.														
Стоимость	подписки пересылки	руб.	коп.	Количество комплектов																							
		руб.	коп.																								
на 1992 год																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td> </tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </table>			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																
Куда		(почтовый индекс)		(адрес)																							
Кому																											
(фамилия, инициалы)																											

Итак, всего за 14 р. 40 к. вы сможете получить годовую подписку на «ПРИРОДУ» — старейшее и наиболее серьезное научно-популярное издание в стране.

Индекс в каталоге Союзпечати у нашего журнала также неизменен — 70707.

МЫ РАССЧИТЫВАЕМ НА ВАС!

ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА!

На абонементе должен быть проставлен оттиск кассовой машины.

При оформлении подписки (переадресовки) без кассовой машины на абонементе проставляется оттиск календарного штемпеля отделения связи. В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией об оплате стоимости подписки (переадресовки).

Для оформления подписки на газету или журнал, а также для переадресования издания бланк абонемента с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами, разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями, изложенными в каталогах Союзпечати.

Заполнение месячных клеток при переадресовании издания, а также клетки «ПВ—МЕСТО» производится работниками предприятий связи и Союзпечати.

Посеять степь

Д. С. Дзыбов



Джантемир Сосренович Дзыбов, кандидат биологических наук, директор Ставропольского ботанического сада, председатель Совета ботанических садов Северного Кавказа. Область научных интересов — изучение флоры и растительности Центрального Предкавказья, а также разработке ускоренных методов восстановления нарушенных природных ландшафтов, способов выявления эталонных участков целины и создания на их основе сети ботанических заказников с редкими и исчезающими видами, дикими сородичами ценных культурных растений. Автор более 130 научных работ, многих рационализаторских предложений в лугопастбищном хозяйстве, борьбе с эрозией почв и методических разработок современной фитоценологии. Имеет три авторских свидетельства.

СТЕПЬ — спутница человека в его многогранной деятельности, начиная с палеолита. Кочевое животноводство, земледелие, многочисленные завоеватели оставляли на ее лике «антропогенные шрамы» — опустыненные урочища и целые регионы, массивы пашни, которые в конце концов расчленили степную целину на клочки. Все это породило новые грозные явления планетарного масштаба: появились пыльные бури на эродированных землях, вместе с растительностью исчезли многие популяции животных и даже целые типы фитоценозов. Предполагали ли наши предки, что бездумное житие потомков на беспредельных просторах степей приведет к столь глобальным экологическим проблемам? Едва ли. Обширные, малообжитые степные равнины, в избытке поставлявшие корм скоту, небольшие масштабы переложного земледелия, какое-то время слабое проявление эрозийных процессов долго не побуждали к заличиванию нанесенных земле ран. Слишком поздно человек понял, что природа не слепок, не бездушная сцена его «игр».

Степные экосистемы — сложнейшие естественные комплексы, возникшие при дефиците влаги на черноземах или сходных с ними почвах. Растительный покров степей — специфические травяные сообщества, в которых 50—70 % сухолюбивых растений (ксерофитов). Среди них важнейшее место занимают дерновинные злаки: типчаки, келерия, житняки, ковыли. Трудно представить степь без полыней, придающих неповторимый аромат травостоя в знойный день и в ночную прохладу. Разные виды люцерны, астрагала и иных бобовых, растения многих других семейств формируют многокомпонентные степные и близкие к ним фитоценозы: прерии, пушты и т. д.

Флора на определенной степной площади в зависимости от почвенно-климатических условий, прошлой и современной хозяйственной деятельности и прочих причин может быть различной: на 1 м² бывает и 15—20, и 30—50 видов растений из разных родов и семейств. Каждый вид, в свою очередь, — это особи разного возраста, от всходов-«младенцев» до взрослых и старческих.



Возрастные группы занимают определенные экологические ниши, входя в те или иные вертикальные ярусы, вступают в конкурентные отношения с соседями и т. д. Компоненты степи различаются и фенологией: одни виды цветут и дают семена очень рано — в апреле — мае, другие в середине

лета, третьи осенью. Есть и такие, которые цветут и плодоносят все лето непрерывно.

Степь живет многообразием своих компонентов и выполняемых ими функций в фитоценозе, ей не нужны энергетические субсидии извне — удобрения, пестициды, агротехнический уход, они для степи (и луга) про-



Целинная луговая степь близ Ставрополя — один из эталонных участков для сбора семян.

Агростепь, посаженная в 1978 г. На 1 м² этой восстановленной степи растут 28 видов трав, урожайность 25—27 ц сена с 1 га.

Агростепь посева 1980 г. На 1 м² 20—23 вида степных растений, урожайность 20 ц/га.

На снимках показаны опытные участки (0,5—20 га) восстановленных степей Предкавказья, в хозяйствах же Ставропольского края засеяны территории в 50—100 га.

Фото И. А. Лещова

тивопоказаны. Любое грубое вмешательство в степное сообщество вызывает дестабилизацию его состава, разрушение сложившихся биоэнергетических и пищевых процессов и связей, а в конечном итоге — деградацию всей самоподдерживающейся и самовоспроизводящейся экосистемы.

Опустынивание на местах таких бывших экосистем заставило ученых, понявших, что лучшая защита почв от эрозии — ее собственная растительная «шуба», задуматься о путях выхода из серьезного экологического кризиса во многих аридных областях мира. В 30—40-х годах Д. Кертин в Висконсинском университете (США) ставит эксперименты по восстановлению растительности прерий, используя для этого один

из древнейших методов — пересадку кусков дерна с целинного на нарушенный участок, сеет семена наиболее приспособленных местных трав, пересаживает отдельные взрослые растения. Его соотечественники — С. Арчер, К. Банч, А. Стоеш и некоторые другие исследователи, преследуя прикладные цели, пытаются восстановить кормовые угодья прерий, высевая три — пять видов дикорастущих трав. Естественно, этим путем многовидовую степь не воссоздать.

В нашей стране еще в начале века известный ботанико-географ, ученик В. В. Докучаева Г. И. Танфильев перевез из Старобельского уезда квадратный сажень дерна в Петербург и создал там демонстрационный степной участок. Так же возникли небольшие опытные степные делянки и в других городах — Москве, Харькове, Курске, Новосибирске. В Ставропольском ботаническом саду этим методом В. В. Скрипчинский с сотрудниками создали экспозиционный участок луговой степи (около 1 га). По прошествии времени выяснилось, что через 8—17 лет степи восстанавливаются до состояния, близкого к типовому.

Несмотря на энергичную пропаганду и горячее желание исследователей возродить степи, метод применялся лишь для создания научных экспозиций и быстрого задержания небольших нарушенных участков, ибо недостатки его были весьма убедительны: в одном месте нужно «оскальпировать» степь, чтобы на другом за много лет воссоздать

ее (а что станется с оголенным участком целины?); трудоемкость метода не позволяла закрыть дерном большие площади; нужно было немало целинных степей, чтобы в достатке заготавливать дерн, и т. д. Факты оказались сильнее аргументов ревнителей метода дерна, признававших его единственно возможным для восстановления флористически богатых сообществ. Но альтернативы не было, так как попытки создать степь по-иному — высевая семена выборочно собранных видов растений — не принесли успеха. Сами сторонники метода дерна видели непреодолимую трудность в другом — в невозможности собрать семена всех растений эталонной степи. Добавлю, что если бы это и удалось на каком-то одном участке, сохранить количественное соотношение компонентов было бы невозможно, ведь семена разных видов не созревают одновременно, как пшеница на полях.

Мне тоже довелось быть участником дерновых экспериментов, оказавшихся малопримлемыми. Мысль восстановить степь иным способом пришла неожиданно. В один из погожих дней начала сентября 1974 г., будучи на горе Стрижамент близ Ставрополя, среди превосходной несконченной целины, я был поражен необычайным обилием семян на многих видах растений. А что если запустить в это море семян комбайн? Ведь можно собрать смесь, которую дает сама природа!

Чтобы осуществить идею, годились и небольшие участки целины, сохранившиеся, к счастью, в любом районе степной зоны, и даже фрагменты степи на скифских курганах среди пашни. Как будто просто решалась непреодолимая для многих рекультиваторов степи проблема — воссоздать ее во всем природном многообразии: собрав созревшие в разное время семена за два-три укоса (с нужным интервалом) и высев смесь, можно обеспечить флористическую полноту фитоценоза. Кроме того, метод казался экологически целесообразным (исходный семенной участок оставался невредимым и мог сколь угодно долго служить для сбора семян) и экономически выгодным (хозяйствам, имеющим остатки целины, не нужно покупать на стороне дорогой семенной материал). Воплощение виделось вполне реальным, к радости, меня поддерживал мой учитель, крупный геоботаник и флорист В. Г. Танфильев.

Первое, с чего предстояло начать, — подготовить почву для будущей степи. Те бросовые земли, на которых только и можно было начать эксперимент, — это выродившиеся пастбища, присельные выгоны, пу-

стыри, участки вдоль дорог, неухаживаемые стадионы, эродированные старопахотные земли, заброшенные карьеры и т. д., обычно заросшие одно- и многолетними сорными растениями. Если их не уничтожить, они не оставят всходам степных трав ни света, ни питательных веществ, ни жизненного пространства. Поэтому почву обрабатывали дисковыми орудиями (в два-три следа), иногда, если эрозия не была слишком сильной, вспахивали на глубину 16—18 см.

Почву под степь нужно готовить так, чтобы ко времени высева смеси прежняя бурьянистая растительность была уничтожена, а сеять полосами (шириной 30—40 м), оставляя между ними такой же ширины не вспаханные кулисы. По прошествии двух-трех лет, когда на засеянных полосах восстановится степная растительность, можно обрабатывать и засеивать и кулисы.

Эталонном восстанавливаемом степного фитоценоза (семенным участком) может быть любой клочок целины или старовозрастной залежи, где флористический состав наиболее полон, т. е. имеются зональные доминанты и сопутствующие им виды. Если на 1 м² степного участка 15—20 целинных видов — это убедительный аргумент для отбора его в качестве семенного. Наш опыт показывает, правда, что можно убирать смесь семян с разрозненных, но однотипных травостоев и объединять ее. Чтобы следить, как восстанавливается степь, еще до сбора семян нужно подробно описать флористический состав и обилие видов на семенных участках, учесть урожайность.

Сроки сбора смеси семян и число укосов в разных географических зонах и даже на склонах различных экспозиций, конечно же, отличаются, тут экспериментаторы должны ориентироваться на характер фенологии растений. Мы у себя на Северном Кавказе отработали специальный график сбора семян в четыре этапа (таблица), по которому удастся взять с эталона степи (луга) фактически весь состав флоры. Заготовка посевных смесей — самое важное звено нового метода ускоренного восстановления степи, отдельные растения в которой сжились со средой и друг с другом за многие века и даже тысячелетия. Правда, для производственных целей можно ограничиться и неполным флористическим составом — 80—90 % видов от исходного их числа на эталонном участке вполне достаточно, а собрать их удается за две уборки в разные сроки. Время основной заготовки — это период созревания семян доминирующих видов (злаков!).

Обычно мы заготавливаем сложную

природную смесь семян либо в виде листостебельной массы (попросту — сена), либо одних семян силосоуборочными машинами или комбайнами. В наших южных районах мы «сеем степь» под зиму (конец августа — начало сентября) или весной (в февральские «окна»). Смесь семян рассеивается по вспаханной почве тонким слоем и тщательно прикатывается, чтобы их не сдул ветер.

Эродированные угодья и бросовые земли, на которых в первую очередь и воссоздается степь, содержат множество семян сорняков, способных быстро прорасти и дать мощные растения. Чтобы они не перехватывали влагу и питательные вещества у высеванных степных видов, полезно в первое же лето скашивать травы молодого сообщества два-три раза с интервалом в 20—30 дней. Медленно растущим целинным травам это почти не повредит, так как они не захватываются косилкой, даже пойдет на пользу: улучшится освещенность молодых посевов, почва обогатится органикой, снизится конкурентное давление на всходы и т. д.

Многие остатки целины, как известно, не столь богаты хорошими кормовыми или иными хозяйственно ценными растениями. На большинстве степных клочков ничтожно мала доля бобовых трав — источников белка, столь важного, например, в производстве кормов. Поэтому иногда приходится искусственно обогащать ими степные смеси, добавляя семена сортовых или дикорастущих бобовых, а то и других растений, в которых нуждается хозяйство. Исходя из его потребностей, в агростепь (так мы называем вновь созданные фитоценозы, чтобы отличить их от настоящей степной целины) можно вносить злаки, лекарственные, технические, медоносные растения. Какими бы видами ни дополнялась агростепь, засевать ее нужно комбинацией смеси семян — природных степных и дополняющих видов, чтобы избежать конкуренции между растениями разного возраста. Если хозяйственно ценные виды подсеять в уже сформировавшийся степной травостой, взрослые растения подавят всходы подсеянных, и желаемого эффекта достичь не удастся.

Наш метод восстановления степи уже используется в нескольких районах Ставропольского края, его начали испытывать в Краснодарском крае и Волгоградской области — пока степь высеяна на 1000 га эродированных земель. Вот краткая характеристика одного из участков восстановленной степи в Шлаковском районе Ставрополя: на 100 м² учетной площади растут 60 видов трав, которые покрывают поверхность почвы на

90—100 %; травостой трехъярусный — 15, 50 и 70 см; за вегетационный период с марта по октябрь сменяются пять-шесть красочных аспектов (аспект — внешний вид растительного сообщества), особенно многоцветна степь во второй декаде июня. Флора, как и должно для луговой степи, насыщена злаками: типчаками (два вида), ковылями (два вида), есть келерия стройная, кострец береговой, тимopheевка степная и т. д.; множество бобовых (люцерна румынская и хмелевидная, эспарцет донской, лядвенец кавказский, клевер горный, сходный, средний и прочие, язвенник многолистный, вязель пестрый и т. д.). Из многочисленных видов разнотравья часты дубровник обыкновенный, чабрец Маршалла, синяк красный, истод кавказский, лабазник обыкновенный, лен жилчатый, пион узколистный, кокушник комариновый и многие другие растения, придающие агростепи сходство с целинным эталоном. В степь вернулись многочисленные группы мелких животных: дождевые черви, шмели, дикие пчелы-листорезы, пресмыкающиеся, грызуны, зайцы и др.

За период разработки метода восстановления степей и лугов выявились многие тонкости нового направления, которыми мы готовы поделиться со всеми, кто им интересуется. Полная технология посева степи с использованием машин и орудий разработана в НПО «Нива Ставрополя» и Ставропольском ботаническом саду, где можно получить необходимые консультации.

Разрушенные степные сообщества могут восстанавливаться и стихийно, но этот процесс длится 70—100 лет, а то и более, так как проходит через ряд стадий, начиная с той, в которой преобладает бурьян, затем растения с хорошо развитыми корневищами, потом — с видами субзональной растительности и, наконец, зональной. Метод посева степи сокращает этот срок в 30—50 раз, и в этом его реальные преимущества. Привлекательно и то, что со второго года агростепь сама становится источником посевных смесей трав, следовательно, метод обладает громадными возможностями воспроизводства генофонда степи, прерии и других типов сообществ: смесью семян с гектара «плодоносящей» на второе лето степи можно засеять, в зависимости от погодных условий, от 5 до 10 га новой площади, т. е. расширять степь в геометрической прогрессии.

Разработанный метод создания агростепей дешев, доступен и прост. Наш опыт показывает, что, посеяв степь, можно оздоровить и возродить загубленные природные ландшафты, отдать наконец долг природе.

Голожаберные против стрекающих

И. С. Рогинская,
кандидат биологических наук

Н. Б. Келлер,
кандидат геолого-минералогических наук
Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР
Москва

МЫ С ДЕТСТВА привыкли, что взаимоотношения хищника и жертвы сводятся к погоне крупного существа за более мелким и к бегству последнего от смертельной опасности. В море часто бывает не так: и хищник может быть мельче жертвы, и скорость их улиточья. Голожаберные, или просто голые, моллюски — пример таких не слишком быстрых, но тем не менее безжалостных хищников. А их жертвы — обычно губки и кишечнополостные, тоже хищные, хорошо защищенные от большинства врагов известковыми или стеклянными спикулами, иногда острыми, как иглы, и жгучими стрекающими клетками — нематоцитами, прикосновение которых весьма чувствительно даже для человека. Достаточно увидеть, с какой опаской приближается голодный осьминог к раку-отшельнику, усадившему на свою раковину актинию, чтобы убедиться, сколь грозно оборонительное оружие стрекающих кишечнополостных! И тем не менее для многих голожаберных моллюсков актинии — единственная пища. Они не просто едят их, а ухитряются сделать так, что стрекательные клетки актинии целехонькими, не «взорвавшись», проходят через рот, пищевод, кишечник и печеночные придатки моллюска и скапливаются в специальных спинных выростах. Эти похищенные у актинии клетки так и называются — клептокниды. При раздражении моллюска нематоциты выбрасываются из мешка наружу, «выстреливают», изливая на врага ядовитое и жгучее содержимое стрекательной капсулы и одновременно поражают его острыми шипиками вывернувшейся стрекательной нити. Чужое оружие хорошо защищает моллюска от многих потенциальных хищников.

Представим себя в приливно-отливной полосе (литорали) северо-западного угла Белого моря в районе Беломорской биологической станции МГУ, чтобы проследить за голожаберным моллюском золидией (*Aeolidia papillosa*) и актинией бунодактис (*Bunodactis stella*).

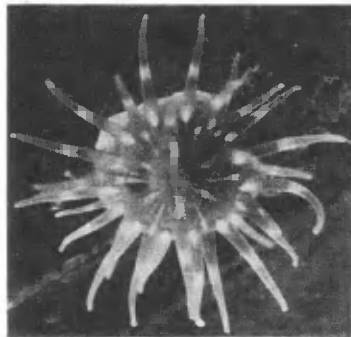
Золидия — довольно крупный для голожаберных моллюск (длина до 7 см), беловатой, серой, иногда с фиолетовыми пятнами окраски. На спинной стороне примерно 20 рядов пальцевидных выростов — папилл (от них и видовое название), которые всегда имеют белые кончики. Золидия широко распространена на литорали в морях Северного полушария и питается актиниями. А их в рацион входит до 30 видов¹.

Бунодактис — одна из ее жертв — не крупная актиния: высота столбика и диаметр ротового диска с расправленными щупальцами не больше 5 см. Оливковый или коричневый столбик усажен рядами мелких бугорчков, ротовой диск светло-коричневый, иногда с белыми радиальными полосками. Щупальца (их до 40—48) прозрачные, с белыми пятнышками, сократимые. Живет эта актиния на мелких камешках и песке, случается, закапывается так, что над грунтом видна лишь звезда (*stella*) ротового диска с лучами. Бунодактис тоже хищник, но пассивный: ест почти все, что попадает на щупальца.

Зато золидия на свою жертву нападает. Для поиска моллюску служит обоняние, или хеморецепция. Здоровую актинию — со всеми целыми щупальцами — она распознает с 14—15 см, а вещества из терзаемой сородичами актинии улавливает даже с 40 см. А если щупальца удалить и дожидаться, пока затянутся раны, золидия должна приблизиться чуть ли не вплотную (на 5,5 см), чтобы опознать жертву. Видимо, для распознавания важно, чтобы у той имелись стрекательные клетки.

Золидия может ориентироваться на охоте и по следу. Мы специально прочерчивали по дну аквариума извилистый след телом здоровой актинии, и моллюск в точности повторял все зигзаги этой дорожки во время охоты.

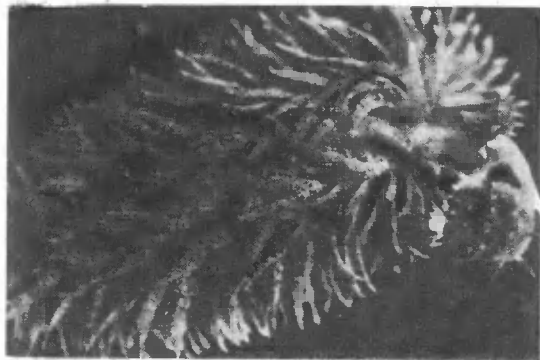
¹ McDonald G. R. // *Malacologia*. 1983. V. 24. N 1—2. P. 114—276.



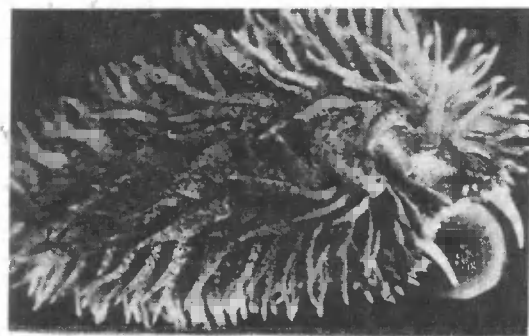
Не ведающая об угрозе актиния в ловчей позе. Здесь и далее фото И. С. Рогинской

Но вот так или иначе жертва обнаружена. Эолидия поворачивается к ней «лицом» и начинает неуверенно, рыскающими «галсами» приближаться. Потом по прямой, не сворачивая с выбранного пути, наконец достигает цели. Оказавшись рядом, хищница вытягивает вперед свои ротовые щупальца и долго оглаживает ими актинию. Затем кусает ее и начинает трапезу. Если эолидия подползает

Типичная цепь действий хищника и жертвы. Эолидия «оглаживает» актинию перед укусом [1] и наносит его [2]. Бунодактис пытается защититься, выпустив щупальца со стрекательными клетками [3]. Моллюск победил, началась трапеза [4].



1



2

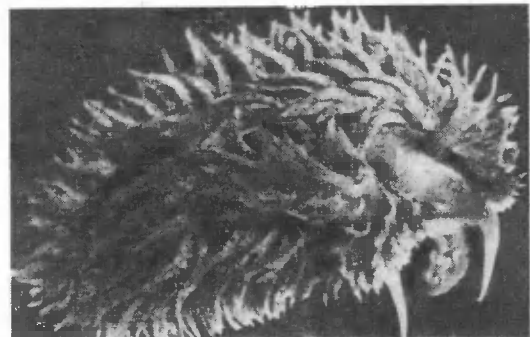
к сидящей на возвышении или оторвавшейся от субстрата жертве, то хватает ее прямо за ротовой диск. Ну а в других случаях укусы приходится в основание столбика, для чего иногда (если актиния поверх грунта выставила только звездчатый венчик серовато-зеленых щупалец) моллюск и сам зарывается в грунт.

Как мы заметили, эолидия начинает поедать свою жертву с околоротовых щупалец, так нещадно жгущихся: наползает на диск (бывает, что подминает под себя актинию) и захватывает их ртом². Тут мы вынуждены поспорить с В. Уотерсом, который считает, что этот моллюск избегает поглощать щупальца³. Будь так, откуда бы набрать ей достаточно для собственной защиты количество стрекательных клеток?

Конечно, эолидия ощущает ожог, когда нападает на бунодактиса или случайно наткнется на его щупальца. Но продолжает нападать: поднимает вверх и направляет на врага-жертву согнутые папиллы со стрекательными мешками на концах. Это вовсе не поза «удовольствия» во время поедания до-

² Рогинская И. С., Келлер Н. Б. Отношение хищник — жертва между беломорской актинией *Bunodactis stella* (Verrill, 1864) и голожаберными моллюсками // Структурно-функциональные исследования морского бентоса. М., 1988. С. 80—94.

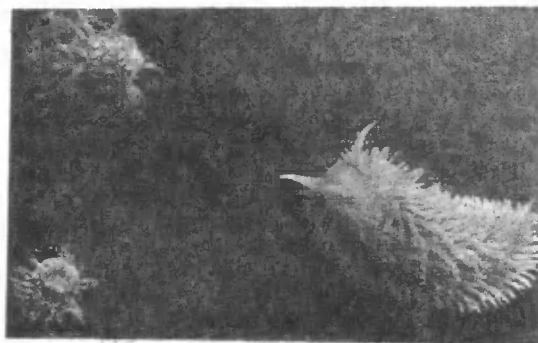
³ Waters V. L. // *The Veliger*. 1973. V. 15. N 3. P. 174—192.



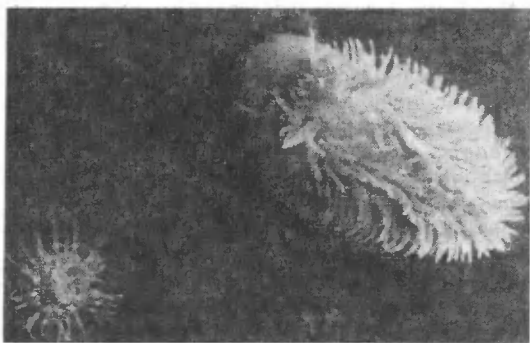
3



4



1



2

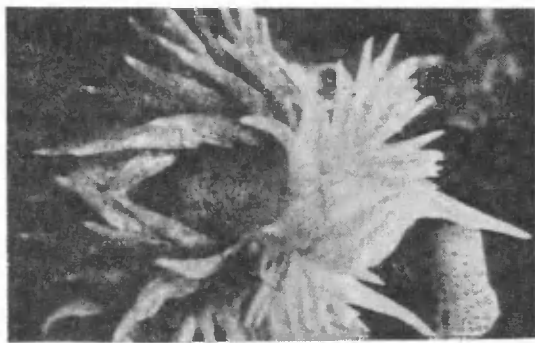
Жертвы обнаружены, золидия направляется к той, что покрупнее [1]. Моллюск поглощает одну актинию, другая принимает вид «отравленной» [2].

бычи, тогда золидия плотно прижимает папиллы к телу. Ожоги как раз и стимулируют цепь реакций в поведении хищницы.

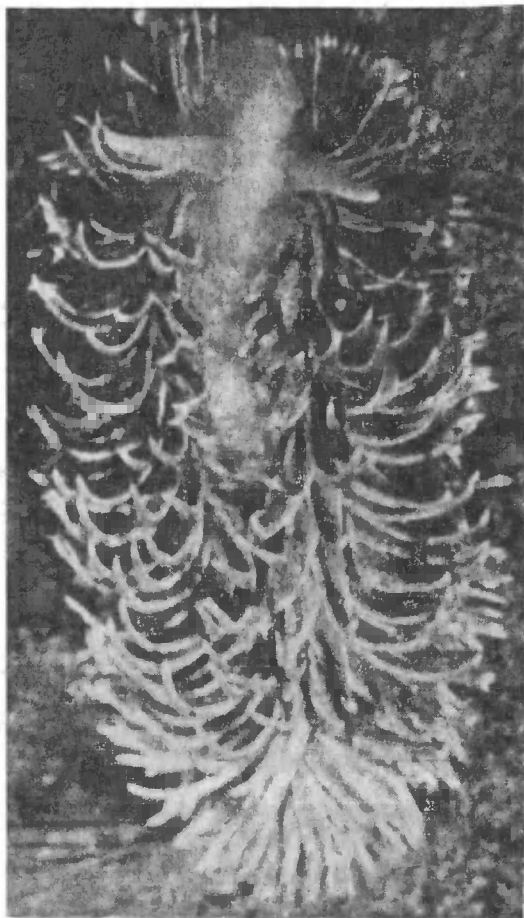
Актиния, укушенная в подошву, судорожно поджимает щупальца, чтобы затем, пытаясь обстрелять врага, вновь выпустить их по мере сил. В поединке кто кого опередит, тот и победитель. Золидия, как правило, успевает нейтрализовать ответную атаку: пока бунодактис не расправил щупальца, она снова наползает на ротовой диск жертвы и обволакивает его слизью.

Хотя Уотерс и считает, что поднятыми папиллами золидия прикрывает свою голову, мы думаем, что так она не защищается, а атакует — не зря концы папилл направлены в сторону врага. Точно так же ведет себя моллюск, если его механически слегка потревожить, особенно во время пиршества. Проще устроенные актинии менее реактивны, они обычно и вовсе не реагируют (во время питания) ни на механические, ни на химические раздражения умеренной силы.

Удивительно, что золидии, эти медли-

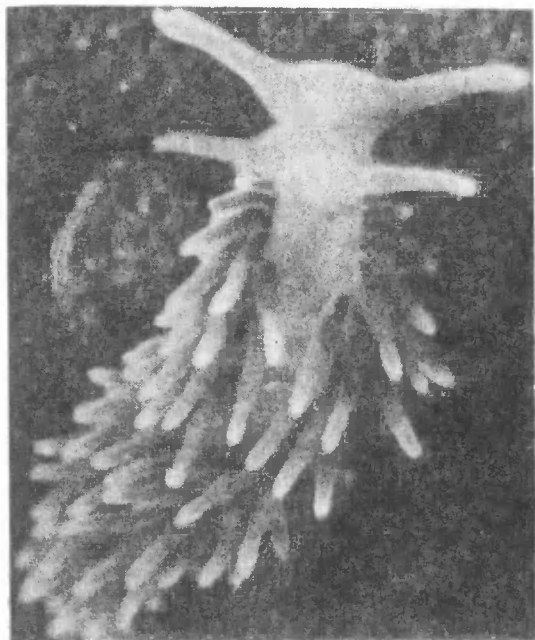


1

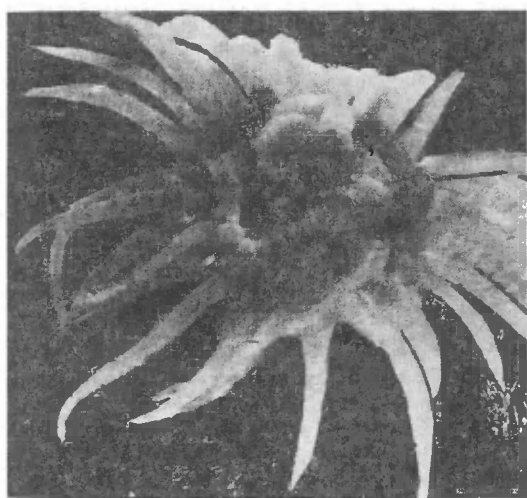


2

Актиния пытается избежать смертельного контакта: свернулась шариком и оторвалась от субстрата [1]. Золидия раздражена: вершины папилл со стрекательными мешками направлены на врага [2].



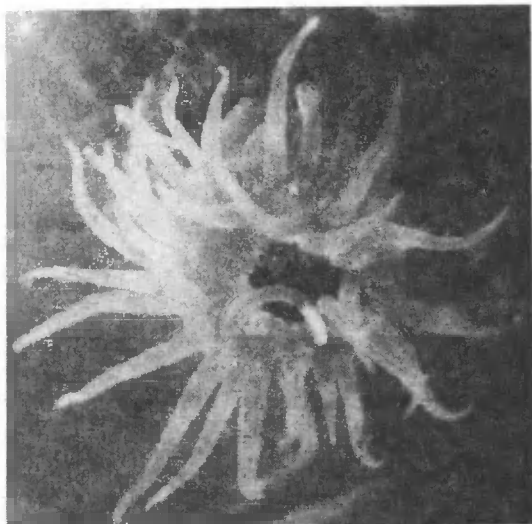
1



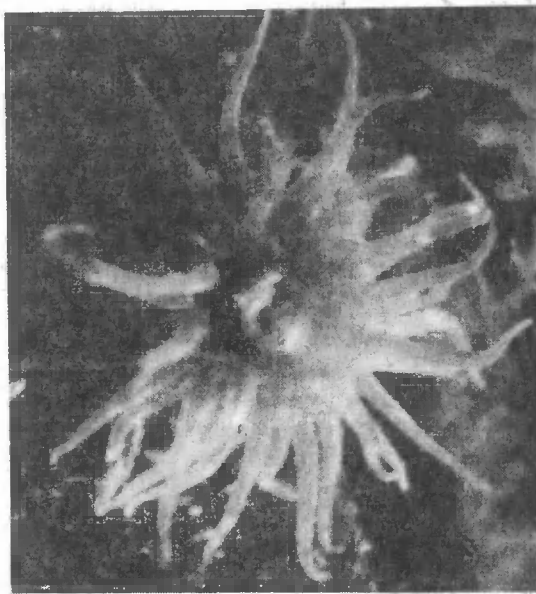
2

Кутона, во многом похожая на эолидию [1]. Актиния с ней не церемонится: попавшая на ротовой диск, кутона быстро оказывается в раскрытой глотке бундактиса [2]. Кутона проглочена, ротовое отверстие актинии сжимается [3] и образуется «бугорок» [4].

тельные активные хищницы, перемещаются по литорали и охотятся «стаями». Лидер, видимо, обладающий самым «острым обонянием», движется впереди всех и оставляет за собой слизистый след. По нему и идут осталь-



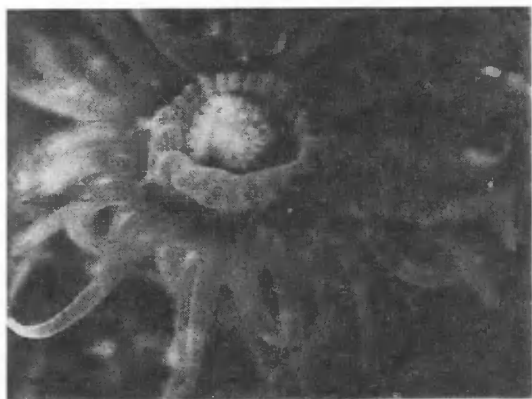
3



4

ные члены «стай» и достигают скопления неподвижных актиний. Без такого вожака моллюски с более слабым обонянием могут и не обнаружить своих жертв.

Надо сказать, бундактис теряет свое спокойствие, стоит эолидии приблизиться на 2—4 см. Его обычная ловчая поза меняется на оборонительную: та часть щупалец, которая ближе всего к хищнице, поднимается вверх. Но актиния одновременно принимает и «позу угрозы» — опускает вниз щупальца периферического кольца со скрюченными



1

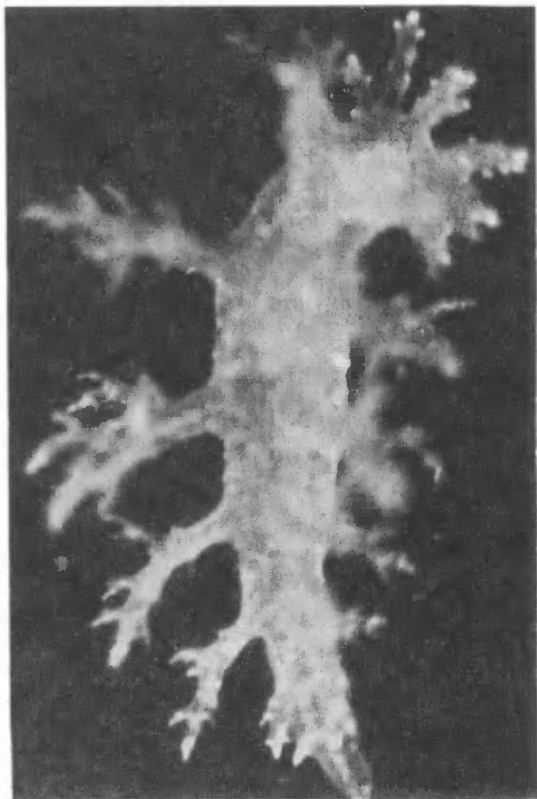


2



3

Актиния — хищница, моллюск онхидорис — жертва. Актиния начинает заглатывать онхидориса, несмотря на его острые спикулы [1], переворачивает спиной вниз [2] и, выпустив мезентерильные нити, переваривает моллюска [3].



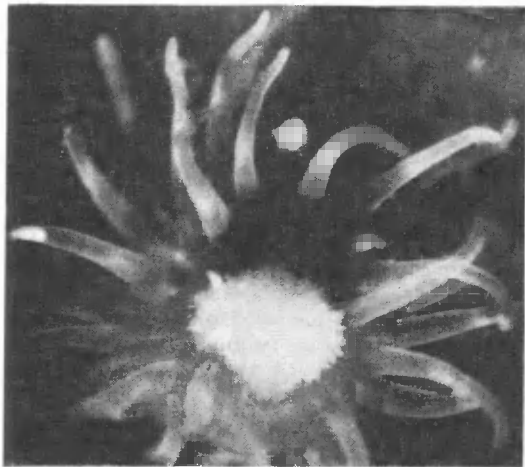
1



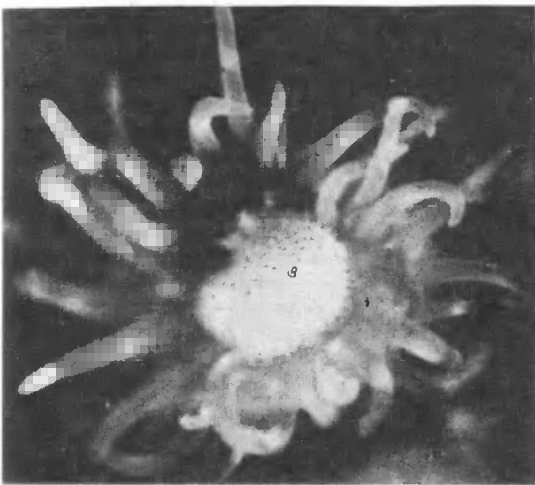
2

Дендронотус [1], голый моллюск, для актинии не враг и не жертва. Актиния с чудовищно вывернутой глоткой после того, как у нее во рту побывал «едкий» дендронотус [2].

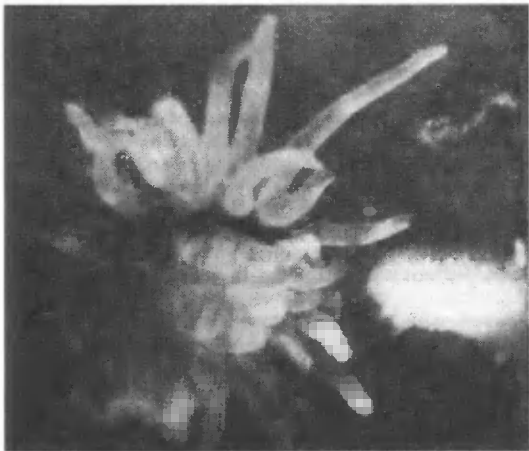
Акванодорис только что посажен на ротовой диск актинии [1], которая пытается сбросить его [2], а освободившись, надолго остается с вывернутой глоткой [3].



1



2



3

концами, начинает выворачивать глотку, как перед поимкой жертвы. А когда золидия приступает к «оглаживанию», буюдактис разворачивает ротовой диск по направлению к врагу, его щупальца становятся тонкими, как нити, перестают шевелиться и безвольно повисают. Так же реагируют на первых порах литоральные актинии при отравлении ядовитыми веществами (мы использовали их для анестезии, чтобы потом зафиксировать буюдактисов)⁴.

Итак, главное оружие — стрекательные клетки — не страшны для моллюсков-хищников, но эти плотно сидящие на грунте животные могут пуститься в своеобразное бегство. Наши подопытные актинии в попытке избежать контакта с хищницей превращались в подобие шарика — сократившееся в комочек тело отрывалось от субстрата. В аквариуме этот способ обороны не давал никакого выигрыша. А если буюдактис станет шариком на литорали? Там волна может отнести его далеко от золидии и спасти жизнь.

В природе золидия всегда охотится за буюдактисом, за долгое время совместного существования у них выработались специфические способы поведения. Моллюск предназначен быть охотником, актиния — жертвой. А как реагирует тот же буюдактис на других голых моллюсков, которые в море к нему вполне равнодушны? Понаблюдаем за этой актинией в аквариуме, когда рядом, например, кутона (*Cuthona hiemalis*). Она из того же подотряда, что и золидия, питается тоже кишечнотелостными и крадет чужие стрекательные клетки для своей защиты. Сходство во всем этом с золидией велико, но одинаково ли реагирует на них актиния?

Оказалось, очень похоже. Правда, оборонительную позу она принимает раньше, когда кутона подползает на 6,5 см, а не на 2—4, как золидия. Наклонив столбик в направлении кутоны и подняв щупальца, буюдактис иногда даже ударял ими проползающего моллюска, заставляя его отшатнуться. Кроме того, актиния делала попытку оторвать подошву от субстрата (реакция избегания), и иногда ей это удавалось. Испуг ее не беспочвен: некоторые кутоны, размером-то всего в какие-нибудь 2,5 см, т. е. с диаметр раскрытого рта актинии, пытались прогрызть ее покровы и, случалось, преуспевали. Если кутона была настойчива и продолжала кусать, щупальца актинии резко сокращались, готовые выстрелить. Правда, огонь стрекатель-

⁴ Келлер Н. Б. Сравнительное поведение литоральных актиний залива Петра Великого (Японское море) // Экология фауны и флоры прибрежных зон океана. М., 1985. С. 31—36.

ных клеток не был нужен, мелкий моллюск не мог справиться с актинией, и та быстро принимала обычную ловчую позу. В морях эта пара не состоялась как хищник и жертва: живут они на разных глубинах литорали (бунодактис на меньших) и никогда не встречаются.

А может ли быть наоборот: актиния — хищник, а голый моллюск — жертва? Как поведет себя актиния, если ей на ротовой диск попадет моллюск? Ответ опять дает эксперимент в аквариуме.

С кутоней бунодактис не церемонится: подтягивает ее ко рту (ухватив щупальцами, если она пытается вырваться) и переворачивает на спину. Затягивание в ротовое отверстие — лишь дело времени.

Судьба другого моллюска — онхидориса (*Onchidoris muricata*) ничуть не счастливее. Попади он на ротовой диск актинии, этот буквально ошетилившийся острыми известковыми спикулами моллюск неминуемо окажется во рту пассивной хищницы. Последовательность действий бунодактиса одинакова в обоих случаях.

Но сколько бы мы ни сажали на ловчие щупальца актинии голожаберных дендронотуса (*Dendronothus frondosus*) и акантодориса (*Acanthodoris pilosa*), она неизменно отвергла их. И это при том, что тело их не защищено ни чужими стрекательными клетками, ни острыми спикулами. Рефлекторно обхватив щупальцами акантодориса, актиния сразу же судорожно скрючивала их, как от ожога, и выворачивала глотку, чтобы «выплюнуть» моллюска. И неудивительно: его кожные покровы выделяют кислоту. Реакция на дендронотуса была еще более бурной: околоротовое пространство актинии вздувалось надобие купола, она пыталась сбросить мол-

люска, подталкивая щупальцами. А сбросив, долго еще сидела с вывернутой глоткой. Наша повторная попытка накормить бунодактиса этим же «едким» моллюском привела к чудовищному выворачиванию его глотки. Дендронотус, конечно, был извергнут, а актиния долго «отмывала» глотку водой.

Остается добавить, что самостоятельно поймать ни одного из упомянутых моллюсков бунодактис не может, даже если они проползают вплотную к нему. Правда, акантодориса он пытался приклеить слизью.

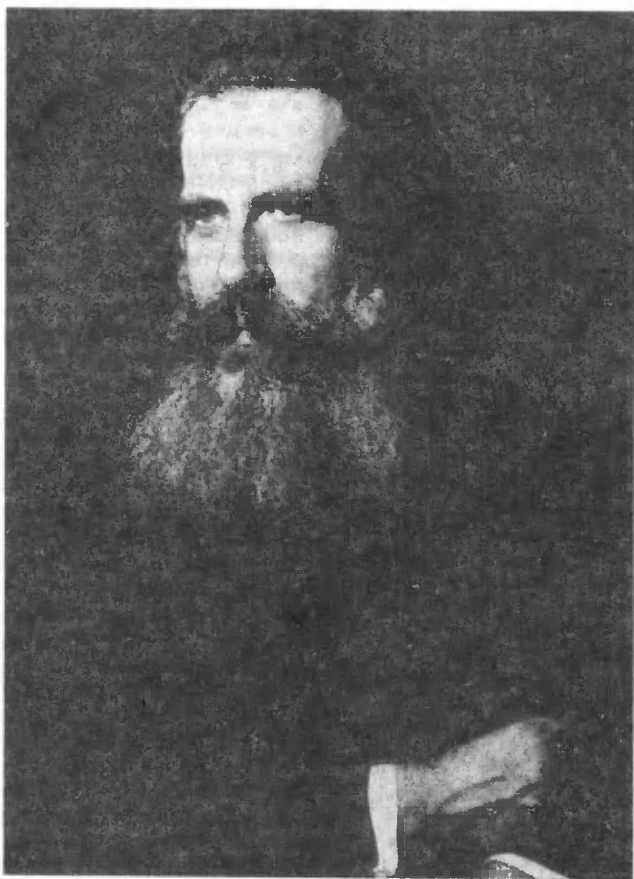
Итак, в отношениях золидии и бунодактиса моллюск всегда хищник, актиния всегда жертва. Отношения кутоней с актинией уже сложнее: кутоня питается гидроидами, но и на актинию реагирует, как на добычу. Только справиться с нею кутоне редко удается. К тому же она рискует превратиться из хищника в жертву, если актинии повезет с ней справиться. Именно на золидию и кутону актиния реагирует на расстоянии, как бы определяя: каждый, кто имеет краденые стрекательные клетки, — враг, его нужно опасаться, а при удаче — съесть.

Онхидорис, хоть и защищен острыми известковыми спикулами, но не от актинии. Она с легкостью переваривает моллюска, а оставшиеся спикулы извергает.

Наконец, дендронотус и акантодорис, в качестве защиты использующие едкую кислоту, для актинии — не враг и не добыча. Их отношения с актиниями — нечто вроде отношений жабы с осой: раз попробуешь — больше не захочешь.

Голожаберные моллюски — одни из самых ярких и красивых животных моря. Актинию тоже недаром называют морским анемоном. Но мы видим: главное в отношениях между ними — борьба за жизнь.

СУДЬБА КОСМОГОНИЧЕСКИХ ИДЕЙ О. Ю. ШМИДТА



Отто Юльевич Шмидт
[18(30).IX 1891—7.IX 1956]

30 сентября 1991 г. исполняется 100 лет со дня рождения крупного ученого, видного государственного и общественного деятеля, академика Отто Юльевича Шмидта. Для многих людей старшего поколения его имя ассоциируется с романтикой освоения Арктики. Математики знают его как одного из основателей отечественной алгебраической школы, автора монографии «Абстрактная теория групп». Геологам и геофизикам он известен как исследователь Курской магнитной аномалии, создатель и директор Института теоретической геофизики. Был он и одним из организаторов высшего образования и издательского дела в стране, первым главным редактором Большой Советской Энциклопедии. В последние годы жизни (1951—1956) Отто Юльевич был главным редактором «Природы».

Основная же научная заслуга Шмидта состоит, видимо, в том, что он заложил фундамент новой космогонической теории образования Земли и планет, Солнечной системы в целом. И хотя при своем появлении космогонические идеи Шмидта встретили немало противников, дальнейшее их развитие предопределило тот сценарий происхождения и эволюции Солнечной системы, который сейчас разрабатывается во всем мире.

В этом номере читатели «Природы» познакомятся с анализом вклада Шмидта в создание теории образования Солнечной системы, происхождения и эволюции Земли, а также с современными исследованиями в этих направлениях¹. В нашу подборку мы включили и исторический очерк о состоявшемся 40 лет назад совещании по планетной космогонии, где делались попытки рассматривать концепцию Шмидта с идеологических позиций.

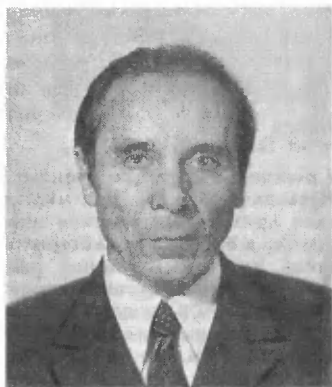
¹ Более полный вариант этих статей специалисты найдут в юбилейном выпуске журнала «Физика Земли» (1991, № 8).

У истоков современной теории происхождения Земли

Е. Л. Рускол, В. С. Сафронов



Евгения Леонидовна Рускол, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник — консультант Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Область научных интересов — физика Луны и планет, планетная космогония.



Виктор Сергеевич Сафронов, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник того же института. Основные научные интересы связаны с происхождением и ранней эволюцией Солнечной системы, Земли и планет.

ДО НАЧАЛА 40-х годов, когда О. Ю. Шмидт стал публично излагать свою теорию аккумуляции Земли из небольших тел, называвшуюся тогда «метеоритной теорией», проблема происхождения планет считалась чисто астрономической. Во главу угла ставились четыре известные закономерности строения Солнечной системы: 1) почти круговые компланарные орбиты планет с одинаковым направлением обращения вокруг Солнца; 2) закономерное увеличение расстояний между планетами; 3) деление планет на две группы (земного типа и планет-гиганты); 4) дисбаланс в распределении массы и углового момента между Солнцем и планетной системой.

Первые три закономерности говорили об общем допланетном облаке, в котором температура падала с увеличением расстояния от Солнца, — к такой картине пришли задолго до Шмидта. Распределение же массы и углового момента в Солнечной системе не получило убедительного объяснения ни в одной астрономической теории. Полная неясность существовала и в отношении свойств допланетного облака, длительности различных этапов формирования планет. Непонятно было также, образовалась ли Земля из массивного сгустка в результате потери им большей части массы или аккумуляровалась из меньших объектов, т. е. каким было ее начальное состояние.

Проанализировав все имевшиеся в ту пору геофизические и геохимические данные, Шмидт сделал вывод, что Земля никогда не проходила через полностью расплавленное «огненно-жидкое» состояние, а сформировалась из множества более мелких тел. Отсюда вытекало, что допланетное облако не было массивным. И чтобы объяснить его грандиозные размеры (большой угловой момент при медленном вращении Солнца), Шмидт предположил, что облако было захвачено Солнцем при его встрече с межзвездной туманностью.

Именно это утверждение, хотя и подкрепленное новаторской работой Шмидта о возможности захвата в системе трех гравитирующих тел, вызвало наибольшую критику со стороны астрономов. Дело в том,

что большинство из них было убеждено, что планеты являются побочным продуктом образования звезд. Естественно, совместное образование выглядело намного привлекательнее, чем захват.

Наиболее полно теория Шмидта изложена в третьем издании его книги «Четыре лекции о теории происхождения Земли», вышедшем в 1957 г., через год после его смерти. Впервые эта книга была издана в 1949 г. на основе лекций, прочитанных Шмидтом весной 1948 г. в Геофизическом институте АН СССР. В 1950 г. последовало второе издание. Затем наступил пятилетний период интенсивного развития теории, в работу было вовлечено много ученых разных специальностей. Все это время шли острые дискуссии по различным аспектам проблемы. Тяжелая болезнь и безвременная смерть Отто Юльевича в сентябре 1956 г. помешали ему написать фундаментальную книгу. Редколлегия под председательством А. И. Лебединского, в которую входил Б. Ю. Левин, Г. Ф. Хильми, В. С. Сафронов и С. В. Козловская, подготовила третье издание, используя опубликованные работы Шмидта 1951—1955 гг. и его рукописи.

Интересно, что в те же годы известный американский физикохимик Г. К. Юри независимо пришел к выводу о холодной аккумуляции Земли на основе исследований метеоритов и анализа геохимических данных. В 1952 г. в США вышла его книга «The Planets»¹, в которой он изложил свои взгляды. Однако ему, как и Шмидту, пришлось долго бороться с распространенным мнением об образовании Земли из гигантской протопланеты. В публикациях американских исследователей эта теория излагалась даже в 60-е годы.

Важнейшей заслугой Шмидта стало то, что он впервые сформулировал проблему происхождения планет как комплексную астрономо-геофизическую. В планетной космогонии он выделил три части (задачи): происхождение околосолнечного допланетного облака (туманности); образование в этом облаке планет; эволюция планет, в первую очередь Земли, от их начального состояния до современного. Отчетливо прослеживается его стремление вывести геофизические, геохимические и геологические следствия образования планет и связать космогонию с данными наук о Земле.

Первая задача должна была решаться вместе с астрономами. Шмидт понимал нереальность ее решения в 40—50-е годы.

Лишь сравнительно недавно были открыты околозвездные диски и сделаны серьезные попытки моделировать совместное образование Солнца и протопланетного облака.

Вопреки расхожему мнению, что проблемой образования планет не следует заниматься, пока не будет решена проблема происхождения звезд, Шмидт считал эти исследования актуальными. Он называл проблему образования планет центральной задачей планетной космогонии, подчеркивая, что она может быть поставлена и решена до некоторой степени независимо.

И действительно, наиболее важные результаты были получены при решении второй и третьей задач планетной космогонии. Именно они составляют основное содержание теории Шмидта. Более того, постановка третьей задачи — об эволюции планет с момента их образования — предвосхитила современную сравнительную планетологию, которая развивалась благодаря космическим исследованиям. Но это было уже после кончины Шмидта.

Остановимся на каждой из выделенных Шмидтом частей планетной космогонии подробнее.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ДОПЛАНЕТНОГО ОБЛАКА

В распоряжении астрономов в 40—50-е годы было, как уже отмечалось, слишком мало фактических данных для решения проблемы происхождения допланетного облака. Тем не менее Шмидт считал, что главная трудность, связанная с аномальным распределением момента количества движения в Солнечной системе, может быть устранена. С этой целью он выдвинул гипотезу о захвате Солнцем вещества допланетного облака при его встрече с галактической туманностью, состоящей из пыли или метеоритов. Одновременно он начал разрабатывать и гипотезу образования двойных звезд путем захвата.

К сожалению, нередко обсуждение всей космогонической теории Шмидта, особенно астрономами, сводилось к критике его гипотезы захвата. Отчасти в этом был повинен сам Шмидт, так как в первые годы работы в области космогонии он считал идею захвата наиболее оригинальной своей идеей.

Вообще, объяснение большого момента количества движения планет при малом моменте Солнца с помощью гипотезы захвата им вещества планет представляется наиболее логичным. Однако астрономы 40-х годов верили в классическое канто-лапласовское представление о совместном образо-

¹ Urey H. C. The Planets. Their origin and development. New Haven, 1952. P. 245.

вании Солнца и допланетного облака из единой туманности, хотя в ту пору не было выдвинуто ни одной приемлемой модели их совместного образования.

Итак, гипотеза захвата подверглась критике. Специалисты в области небесной механики, основываясь на старых работах Ж. Шази, считали гравитационный захват в системе трех тел невозможным. Астрофизики, правда, допускали такую возможность, но считали ее маловероятной. Предложенный Шмидтом упрощенный вариант захвата при сближении двух тел в поле тяготения Галактики также оказался неправильным.

Тогда Шмидт выдвинул гипотезу захвата в системе трех гравитирующих тел и доказал его возможность. Обладая замечательной математической интуицией, он построил конкретный пример движения, приводящего к захвату. Численное интегрирование, выполненное Н. Н. Парийским, подтвердило, что такой захват действительно возможен. Для небесной механики это было важным результатом.

Вскоре Г. Ф. Хильми, Ю. Л. Газарян и Г. А. Мерман подтвердили возможность захвата в системе трех тел аналитически. Были рассмотрены и другие формы захвата. Однако к решению проблемы происхождения допланетного облака приблизиться не удалось: гипотезу захвата не опровергли, но и не приняли.

В последующие годы, когда представления о процессе звездообразования стали более определенными и началось конкретное моделирование образования допланетного диска, появилось понятие «протосолнечная туманность», объединяющее вещество Солнца и планет. Солнечной же туманностью стали называть окружающий Солнце диск (не включающий Солнце).

В 1979 г. У. М. Каула и М. Кобрик рассмотрели еще один вариант захвата. У них протосолнечная туманность коллапсирует в одиночную звезду — Солнце, а момент количества движения приобретает за счет приливного взаимодействия периферии туманности с другой туманностью на ранней стадии коллапса.

В целом гипотезы совместного образования Солнца и допланетного облака представляются сейчас более перспективными, чем гипотезы захвата. Фундаментальный материал по этой проблеме читатели могут найти в коллективных международных монографиях «Protostars and Planets», издаваемых Аризонским университетом (США). Интересно, что одна из моделей совместного образования Солнца и протопланетного облака умеренной массы разрабатывается в ла-

боратории, организованной Шмидтом в 1946 г. в институте, носящем теперь его имя².

Важнейшим стимулом для развития идеи совместного образования стало сравнительно недавнее открытие околозвездных дисков из газа и пыли, обладающих кеплеровским вращением. Здесь уместно напомнить, что одним из сильных аргументов против теории Шмидта в 1951 г., на Первом совещании по вопросам космогонии, было утверждение, что «никто никогда не видел звезды, вокруг которой уже вращается облако»³.

ОБРАЗОВАНИЕ ПЛАНЕТ

Идея Шмидта об образовании планет путем объединения твердых частиц и тел («метеоритная», или «планетезимальная», теория) определила дальнейшее развитие планетной космогонии. Дело в том, что долгое время в ней господствовали представления об образовании планет из газовых сгустков. Хотя в конце XIX в. метеоритную гипотезу развивал бельгийский ученый Р. Лигондес, а в начале XX в. появилась планетезимальная гипотеза американцев Ф. Мультона и Т. Чемберлина, вскоре они были оставлены. И в 40-х годах этот путь космогонии выглядел отнюдь не очевидным, так что идеи Шмидта в значительной мере определялись его интуицией.

Огненно-жидкое начальное состояние Земли, образовавшейся из гигантского газового сгустка, противоречило ряду накопленных к тому времени фактов. Если бы речь шла лишь о потере легких и летучих элементов, связанной с небольшими массами планет земной группы, то чем тяжелее элемент, тем больше было бы его содержание в Земле. Однако содержание тяжелых инертных газов — криптона и ксенона — в Земле составляет лишь несколько сотых тысячных частей от их космического обилия. Сильно обеднена Земля также азотом и неоном. Наша планета состоит преимущественно из таких компонентов, которые в условиях допланетного облака могли находиться в конденсированном состоянии, т. е. входить в состав твердых частиц.

Большую роль в выработке современных представлений о составе Земли сыграла работа И. С. Шкловского, в которой была показана неэффективность сор-

² Руз майкина Т. В. Метеориты — свидетели эволюции протопланетного диска // Природа. 1987. № 9. С. 32—33.

³ Труды Первого совещания по вопросам космогонии. М., 1951.

тировки легких газов при термической диссипации массивных гравитирующих газовых сгустков, отвечающих по составу Солнцу⁴. Согласно прежней, «дошмидтовской» концепции, Земля как раз и должна была представлять собой такой сгусток массой примерно в 600 раз больше современной, поскольку добавление легких и летучих соединений к тем тяжелым компонентам, которые составляют Землю, приводит именно к таким гигантским величинам. (В. Г. Фесенков принимал массу протоземли примерно в 30 ее современных масс.)

Но еще раньше, в 1944 г., произошло событие, поставившее под сомнение концепцию гигантских протопланет: в спектре атмосферы Титана — спутника Сатурна с массой в два раза больше Луны — открыли линии метана. Тогда же было высказано предположение о наличии мощной метановой атмосферы у этого небольшого тела, что исключало горячую начальную стадию его развития. В 1981 г. эксперименты на «Вояджерах» показали, что метан — лишь примесь в мощной азотной атмосфере Титана. Тем не менее этот факт согласуется с выводом о холодном образовании спутникового тела. Вообще, все спутники планет могли образоваться лишь путем аккумуляции мелких тел и частиц.

Деление планет на две группы — земного типа и планет-гигантов — впервые получило объяснение в теории Шмидта. Б. Ю. Левин на основании изучения поведения комет показал, что в близкой к Солнцу прогреваемой зоне из силикатов и металлов образуются планеты земной группы, а в более удаленной, холодной — планеты-гиганты, состоящие в основном из замерзших летучих соединений (CH_4 , NH_3 , CO_2 и др.)⁵.

В начале 50-х годов еще не было ясно, как в рамках модели формирования планет из твердых тел вписываются Юпитер и Сатурн. В. Г. Фесенков и А. Г. Масевич утверждали, что теория Шмидта не в состоянии объяснить их химический состав, поскольку на этих планетах доминирует водород. Вместе с тем Л. Э. Гуревич и А. И. Лебединский высказали предположение, что в зоне планет-гигантов температура была очень низкой и почти весь газ конденсировался на пылинках. Впоследствии было показано, что водород и гелий присоединились к этим планетам в газовой фазе, так как температуры их конденса-

ции слишком низкие даже для периферии протопланетного облака. Однако зародыши планет-гигантов могли образоваться только путем аккумуляции твердых планетезималей (в которых преобладали льды перечисленных веществ), и только при достижении зародышами массы, достаточной для удержания и прогрессирующего сжатия мощной газовой атмосферы, могла начаться газовая аккреция.

Понимание всех этих процессов сложилось уже после кончины Шмидта. В его же время важным был отказ от гипотезы гигантских газовых протопланет для всех тел Солнечной системы, а не только для планет земной группы. Более строго деление планет на две группы (сейчас правильнее говорить о трех группах: земная, Юпитер — Сатурн и Уран — Нептун) было объяснено в начале 70-х годов. Выяснилась и большая роль водяного льда в составе ядер комет: если бы это было известно в начале 50-х годов, перечисление замерзших летучих начиналось бы не с метана, а с воды.

Шмидт объяснил основные физико-механические закономерности планетной системы. Наиболее просто и естественно объясняется движение планет по почти круговым орбитам, в одном направлении и почти в одной плоскости. Все это результат усреднения элементов орбит отдельных частиц. Первоначально частицы двигались по разнообразным эллиптическим и наклонным орбитам, но при объединении большого числа тел в единую планету эксцентриситет и наклон ее орбиты к центральной плоскости должны были стать очень малыми. В последние десятилетия данное объяснение получило количественную разработку как в нашей стране, так и за рубежом.

Важнейшие характеристики роста планеты — его скорость на различных этапах и суммарное «догеологическое» время ее существования. Еще в 1945 г. в работе «Астрономический возраст Земли» Шмидт вывел формулу для определения скорости роста планеты, «вычерпывающей» вещество из ее зоны. Он исходил из предположения, что каждое тело, двигаясь по наклонной орбите вокруг Солнца, за время своего обращения дважды пересекало плоскость орбиты планеты и при этом могло упасть на планету с вероятностью, равной отношению геометрического сечения планеты к площади ее кольцеобразной зоны. Формула дает экспоненциальное убывание со временем количества вещества в зоне, еще не вычерпанного планетой. Полагая, что выпадающее в настоящее время на Землю метеоритное и метеорное вещество является

⁴ Шкловский И. С. // Астрон. журн. 1951. № 28. С. 234—243.

⁵ Левин Б. Ю. Происхождение Земли и планет. Изд. 4-е. М., 1964.

остатком первичного вещества ее зоны, Шмидт определил по этой формуле возраст Земли (время роста) в 7,6 млрд. лет.

Эта оценка оказалась уязвимой для критики, поскольку и метеориты, и метеоры представляют собой продукт распада астероидов и комет, а не первичное вещество зоны Земли. И все же формула Шмидта стала одним из важнейших соотношений количественной теории роста планет. Повторно она была выведена одним из авторов статьи с помощью более строгого метода⁶. Скорость роста планет оказалась в 15—20 раз больше, чем по оценкам Шмидта: в два раза — из-за того, что он рассматривал движение тел только перпендикулярно плоскости орбиты планеты, и еще на порядок — из-за того, что он использовал в формуле не эффективное сечение столкновения с гравитирующей планетой, а ее геометрическое сечение.

В. С. Сафронов рассчитал, что Земля успела сформироваться за 100 млн. лет и уже за первые 1—2 млрд. лет «вычерпала» все первичное вещество своей зоны. В последующие годы делались попытки пересмотреть характерное время аккумуляции Земли, в основном в сторону сокращения. Однако оценка в 100 млн. лет устояла: она подтверждена и динамическими расчетами, и изотопными данными. Недавно такое же время роста Земли получил известный американский геохимик Дж. Везерилл, численно моделируя процесс аккумуляции планет земной группы⁷.

Еще одно достижение Шмидта связано с объяснением закона планетных расстояний Тициуса — Боде. Согласно этому закону, расстояния планет от Солнца меняются приблизительно в геометрической прогрессии. Шмидт обнаружил, что удельные моменты планет (квадратные корни из их расстояний от Солнца) составляют арифметическую прогрессию, точнее, одну арифметическую прогрессию для планет земной группы и другую — для планет-гигантов. Ему пришлось выделить две последовательности из-за резкого различия всех характеристик двух групп планет. И хотя многие астрономы сочли это недостатком теории (в закон были внесены два дополнительных свободных параметра), нельзя не признать, что расстояния внешних планет лучше описываются арифметической прогрессией для $R^{1/2}$, чем геометрической

прогрессией для R . Теперь стало ясно, что расстояния до планет отражают размеры их зон питания, а также условия устойчивости их орбит в течение длительного времени.

Шмидт рассмотрел причины вращения планет при общей постановке задачи, прежде никак не применявшейся. Он написал условия сохранения момента количества движения и энергии при переходе от начального состояния вещества в зоне данной планеты (облака частиц, движущихся вокруг Солнца) к конечному, т. е. к готовой планете. Шмидт исходил из того, что начальный момент количества движения вещества данной зоны относительно Солнца перешел в орбитальный момент планеты и ее вращательный момент. Чем меньше орбитальный момент (т. е. радиус орбиты) планеты, тем больше должен быть вращательный момент. Но чем меньше радиус орбиты, тем меньше орбитальная энергия планеты и, как считал Шмидт, тем больше тепловые потери при ее образовании. Отсюда следовал основной вывод Шмидта: так как потери энергии в этом процессе велики, то вращение планет должно быть прямым (в направлении орбитального движения). По аналогии с этим Шмидт считал, что обратное движение далеких спутников Юпитера связано с малыми тепловыми потерями при их образовании на большом расстоянии от планеты.

Дальнейший анализ уравнений сохранения энергии не подтвердил прямой зависимости вращения планеты от тепловых потерь: и вращение, и потери определяются конкретными условиями объединения тел в планету⁸. Учтя эксцентриситет орбит допланетных тел, удалось показать, что растущие тела приобретают преимущественно прямое вращение, угловые скорости их вращения мало отличаются в широчайшем диапазоне масс и наклоны осей вращения планет к оси эклиптики связаны с нецентральными ударами крупных допланетных тел. Данная концепция получила развитие в работах А. В. Витязева и Г. В. Печерниковой. Иные подходы (приобретение вращения через спутниковые рои) развивались А. В. Артемьевым, В. В. Радзиевским и Р. И. Киладзе. В последние годы за рубежом проведены численные эксперименты для трехмерных систем сталкивающихся тел, которые показали, что тел с прямым вращением формируется всегда боль-

⁶ Сафронов В. С. // Астрон. журн. 1954. № 31. С. 499—510.

⁷ Везерилл Дж. В. Образование планет земной группы из планетезималей // Труды советско-американского симпозиума «Науки о планетах». М., 1990.

⁸ Сафронов В. С. К вопросу о вращении планет // Вopr. космогонии. 1962. Т. 8. С. 150—167.

ше, чем с обратным. Именно это и наблюдается в Солнечной системе.

В теории Шмидта образование спутников рассматривается как процесс, сопутствовавший формированию планет. Он писал, что «при образовании планет, в процессе сближения частиц с крупными зародышами планет, некоторые из частиц, сталкиваясь, настолько теряли скорость, что выпадали из общего роя и начинали обращаться вокруг планеты. Таким образом, около планетного зародыша образуется сгущение — рой частиц, обращающихся около него по эллиптическим орбитам. В уменьшенном масштабе в этих роях будут происходить те же процессы, что и при образовании планет. Большинство частиц упадет на планету (присоединится к ней), часть же их будет образовывать околопланетный рой и объединяться в самостоятельные зародыши — будущие спутники планет...»⁹.

На основе этих идей Шмидта в последние годы была разработана количественная модель образования Луны, исследованы закономерности развития протоспутниковых роев, созданы модели околопланетных газопылевых дисков, сопровождавших образование планет-гигантов, рассмотрена связь образования спутников с происхождением вращения планет.

Поскольку возможность слипания малых сталкивающихся тел ставилась под сомнение, Шмидт предположил,¹ что в допланетном рое с самого начала присутствовали достаточно крупные тела, которые своим тяготением удерживали падавшие на них мелкие тела и частицы. В 1950 г. Гуревич и Лебединский исследовали эволюцию околосолнечного пылевого облака, не содержавшего крупных тел¹⁰. Они показали, что вследствие неупругих столкновений частиц облако сначала превратилось в тонкий диск (слой). Затем, достигнув критической плотности, диск стал гравитационно неустойчивым и распался на множество сгущений. При объединении этих сгущений и образовался рой тел, который принимался Шмидтом в качестве исходного состояния облака. Эта работа, представляющая существенный шаг в изучении ранней стадии эволюции допланетного облака, стала одним из важных звеньев теории Шмидта.

В дальнейшем выяснилось, что пылевой слой, принятый Гуревичем и Лебединским за исходное состояние околосолнечного

облака, образовался вследствие затухания неупорядоченных движений в газе и оседании пылевых частиц вблизи центральной плоскости облака, т. е. при естественной эволюции околосолнечного газопылевого облака. Это было показано еще при жизни Шмидта¹¹. Затем последовал цикл работ, посвященных газопылевым дискам, с детальным изучением их поведения и разделения компонентов.

В настоящее время среди специалистов почти нет разногласий в отношении главной идеи Шмидта — об аккумуляции планет в газопылевом облаке, где строительным материалом служили твердые частицы.

Интереснейший материал для дальнейшего развития теории происхождения Земли поступает благодаря космическим исследованиям планет и изучению метеоритов. Природа астероидного пояса, поставляющего на Землю метеориты, еще только начинает изучаться. Тем важнее представляется идея Шмидта о поясе астероидов, высказанная 40 лет назад. Вопреки популярной в то время гипотезе о катастрофическом происхождении астероидов вследствие распада планеты (Фаэтона), Шмидт пришел к выводу, что астероиды — это не успевшие объединиться в планету малые тела в зоне между Марсом и Юпитером. Аккумуляция этой планеты остановилась на промежуточной стадии из-за близости массивного Юпитера, который успел вырасти раньше и своими гравитационными возмущениями увеличил относительные скорости астероидных тел. В результате процесс как бы повернул вспять, от преобладания слияния сталкивающихся тел к их дроблению и распаду. Все данные космохимии подтверждают, что вещество всех астероидов никогда не было объединено в одном планетном теле.

НАЧАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ

Отправным пунктом для третьей части планетной космогонии стала идея Шмидта о том, что Земля сформировалась в виде относительно холодного твердого тела и затем постепенно разогревалась теплом, выделявшимся при распаде радиоактивных элементов. До этого в науках о Земле общепринятым было представление об изначально горячем, расплавленном состоянии Земли, опиравшееся исключительно на космогонические концепции. Только В. И. Вернадский, благодаря его огромной эруди-

⁹ Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. Изд. 3-е, доп. М., 1957. С. 57—58.

¹⁰ Гуревич Л. Э., Лебединский А. И. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1950. № 14. С. 765—799.

¹¹ Сафронов В. С., Рускол Е. Л. О гипотезе турбулентности в протопланетном облаке // Вопр. космогонии. 1957. Т. 5. С. 22—46.

ции, смог подойти к проблеме с более широких позиций. Еще в 1908 г. он пришел к выводу, что все внутреннее тепло Земли имеет радиоактивную природу.

Идея Шмидта о первоначально холодной Земле, высказанная уже в космогоническом плане, переворачивала тогдашние представления об эволюции нашей планеты и имела исключительное значение для всех наук геологического цикла. Судьба этой идеи складывалась непросто: некоторые сразу признали ее перспективность, другие, наоборот, сочли, что она подрывает основы геологии и геофизики, и лишь постепенно стали склоняться к этой точке зрения. За рубежом она распространилась позднее, хотя уже в 1950 г. на конференции геологов и геохимиков в Санта-Фе (США) звучали высказывания в пользу холодного начального состояния Земли.

Следует, однако, уточнить, что понимается под «холодным начальным состоянием». Главное в этом термине — противопоставление «огненно-жидкому» состоянию. Что же касается конкретной температуры Земли, то по мере изучения вопроса ее количественные оценки менялись в сторону повышения начальной температуры в определенных зонах Земли. Было установлено, что уже в процессе аккумуляции могли образоваться очаги расплавленной магмы, в которых начиналась дифференциация Земли на силикатную мантию и железное ядро.

Начальное состояние Земли определялось в первую очередь ее температурой. Если бы вся гравитационная энергия, выделившаяся при образовании планеты, осталась в ее недрах, она нагрелась бы до 40 тыс. К. Поэтому важно, при каких конкретных условиях формировалась Земля.

Первые оценки нагревания Земли в процессе ее роста, сделанные одним из авторов статьи, основывались на предположении, что вся энергия ударов падавших на Землю тел высвобождалась на ее поверхности. (Это справедливо, если размер падающих тел не превышает сотен метров.) При таких условиях нагревание планеты определяется временем ее роста. Чем оно дольше, тем больше энергии излучается в пространство и ниже температура поверхности: максимум 350—400 К при продолжительности аккумуляции 100 млн. лет. Учтя выделение радиоактивного тепла и энергию сжатия в такой модели, Е. А. Лю-

бимова¹² определила, что максимальная температура к концу аккумуляции достигалась в центре Земли и приближалась к 1000 К.

Однако столь низкая температура недр не вписывалась в геохимические концепции, свидетельствуя о довольно позднем формировании земного ядра. Делались попытки «повысить» начальную температуру Земли, сократив время аккумуляции в 1000 раз либо допуская неоднородную аккумуляцию, при которой вначале образуется железное ядро, а затем мантия. Но эти предположения оказались противоречащими динамике допланетного роя.

Важным шагом к пониманию начальных этапов роста Земли стало выяснение роли самых крупных допланетных тел в ее термической истории. Оказалось, что заметная часть энергии ударов таких тел не успевала излучаться с поверхности и оставалась в недрах планеты.

На заключительной стадии аккумуляции, когда тела падали на Землю со скоростью 8—12 км/с, образовывались кратеры, объем которых и тысячу раз превышал объем упавших тел. Один из авторов этой статьи рассмотрел задачи о нагревании шара с подвижной границей¹³. Распределение выделяющейся при этом энергии удара по глубине оценивалось с помощью теории кратерообразования, в которую пришлось ввести существенные поправки для самых крупных кратеров. Расчеты показали, что уже при достижении Землей массы Марса (примерно 1/10 современной) температура у прогреваемого ударами основания, т. е. на глубинах около 1000 км, повышается до температуры начала плавления вещества.

Одним из центральных в этой концепции стало представление об иерархии размеров допланетных тел. В последние годы исследования Дж. Везерилла и других ученых показали, что на заключительной стадии аккумуляции в зоне основного зародыша планеты может вырасти «тело номер 2», достигшее по массе 0,1 части основного тела¹⁴. Сейчас усилия многих специалистов направлены на изучение вероятности столкновения Земли с телом, подобным Марсу, на ранней стадии ее разви-

¹² Любимова Е. А. // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1955. № 5. С. 416—424.

¹³ Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М., 1969; Сафронов В. С., Козловская С. В. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1977. № 10. С. 3—13.

¹⁴ Везерилл Дж. В. Указ. соч.

тия. Аргументом в пользу такой катастрофы считается возможность образования массивного протолунного диска из вещества мантии Земли при нецентральной ударе¹⁵.

В заключение остается добавить, что

¹⁵ Витязев А. В., Печерникова Г. В., Сафонов В. С. Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. М., 1990; Рускол Е. Л. Естественные спутники планет // Итоги науки и техники. Астрономия. Т. 28. М., 1986.

современная концепция роста Земли, основанная главным образом на идеях Шмидта, позволяет объяснить как выделение земного ядра за первые сотни миллионов лет существования Земли, так и дифференциацию земных недр, которая еще продолжается и ныне. Эта теория увязывается также с прохождением земной гидросферы и атмосферы.

Температуры в протопланетном диске и их влияние на формирование планет

А. Б. Макалкин, В. А. Дорофеева

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУР В ПЛАНЕТНОЙ КОСМОГОНИИ

«Определить состояние вещества, из которого образовались затем планеты, ... и из этого состояния... вывести все основные свойства планетной системы...», — так формулировал центральную задачу планетной космогонии О. Ю. Шмидт¹. В настоящее время можно считать твердо установленным, в значительной степени благодаря усилиям Шмидта и его последователей, что планеты Солнечной системы образовались из газопылевого облака, расположенного вокруг Солнца и имевшего сплюснутую форму. В последнее время его чаще называют протопланетным диском, особенно после того, как были открыты диски вокруг молодых звезд². Согласно современным представлениям, основанным на астрофизических данных, диск образовался вместе с Солнцем в результате коллапса протосолнечной туманности³. Как следует из моделей внутреннего строения планет, исходное вещество внутренних планет и спутников пла-

нет-гигантов — твердый (пылевой) компонент протопланетного диска, а самих планет-гигантов — газовый и пылевой компоненты. По современным оценкам, планеты выросли за время порядка 100 млн. лет, а диск существовал лишь около 10 млн. лет. Но именно на этой ранней стадии происходило взаимодействие между твердой и газовой составляющими вещества, определившее химический состав допланетных тел, а в итоге — планет и других тел Солнечной системы. Поэтому необходимо знать, какими были физические условия, и прежде всего температуры, давления, фазовые состояния вещества на этой стадии, насколько они различались в разных областях диска и как менялись со временем. Это позволит воссоздать химическую эволюцию допланетного вещества и поможет лучше понять причины особенностей химического состава планет и разнообразия типов метеоритов.

Вопрос о температуре в протопланетном диске — один из важнейших. Она влияет на скорость многих химических и физических процессов в веществе, из которого позже образовались планеты, причем это влияние было наибольшим именно на ранней стадии эволюции, когда основная часть твердого вещества была в виде мелкой пыли. Пылинки химически взаимодействовали с газом, и эти реакции определили многие особенности состава планет. Со временем пылинки росли, объединяясь при столкновениях. Как отмечал Г. Юри, химический состав допланет-

¹ Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. М., 1957. С. 27.

² Другой традиционный термин — допланетное облако, а в зарубежной литературе — солнечная туманность.

³ Подробнее об этом см., например: Рузмайкина Т. В. Метеориты — свидетели эволюции протопланетного диска // Природа. 1987. № 9. С. 32—33; Науки о планетах. М., 1989.



Андрей Борисович Макалкин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Область научных интересов — образование Солнечной системы, эволюция допланетного вещества, строение и состав планет.



Вера Алексеевна Дорофеева, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Занимается вопросами термодинамики природных процессов, поведением летучих соединений при образовании и эволюции планетных атмосфер.

ных тел зависит от температуры, при которой в остывающем протопланетном диске пылинки вырастают настолько, что происходит как бы химическая изоляция твердого допланетного вещества от газа, поскольку газ не может контактировать с веществом, находящимся внутри крупных частиц.

О. Ю. Шмидт уделил значительное внимание вопросу о температурах в протопланетном диске. По его мнению, одна из основных особенностей Солнечной системы, которые должна объяснить теория, — существование двух резко различающихся групп планет: небольшие плотные внутренние и большие, но с низкой плотностью внешние. Шмидт считал, что такое разделение связано с испарением льдов в ближней к Солнцу области и замерзанием летучих веществ — в удаленной. Наблюдения астероидов свидетельствуют о том, что на их поверхности отсутствуют льды, а метеориты содержат лишь очень небольшое количество воды, причем только в химически связанном состоянии. С другой стороны, наблюдения 70-х годов подтвердили присутствие водяного льда на галилеевых спутниках Юпитера. Следовательно, Шмидт был прав, полагая, что граница между зонами образования Юпитера и астероидов связана с фронтом испарения — конденсации льда при температуре около 150 К. Но в то же время он отмечал, что протопланетный диск, содержащий мелкую пыль, непрозрачен для солнечного излучения и поэтому должен быть холодным. Это подтвердили более поздние расчеты В. С. Сафронова, показавшие, что если нет другого источника нагрева, кроме Солнца, то температура опускается до 150 К уже на расстоянии Меркурия, а в поясе астероидов она составляет менее 50 К. То, что фронт испарения льда оказался отодвинут за пояс астероидов, Шмидт объяснял повышением температуры в зоне их образования, когда ближняя к Солнцу часть диска перешла от непрозрачного состояния к прозрачному по мере объединения пылевых частиц и роста допланетных тел. Недавние оценки А. В. Витязева и Г. В. Печерниковой с учетом распределения тел по массам показывают, что такое прозрачное состояние диска достигается через 10 млн. лет после начала эволюции, когда основная масса твердого вещества в поясе астероидов содержится в крупных телах размерами до 10—100 км (и поэтому уже неэффективно химическое взаимодействие между газом и твердым веществом). В настоящее время трудно согласиться с мнением Шмидта, что диск был первоначально холодным и что фронт конденсации льда оказался между

астероидным поясом и Юпитером лишь на поздней стадии эволюции диска. Современные данные астрофизики и космохимии, а также модели протопланетного диска свидетельствуют о более высоких температурах на ранней стадии его эволюции.

АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКАХ

Наблюдения в инфракрасном и миллиметровом диапазонах волн дают прямые подтверждения существования дисков вокруг нескольких молодых звезд, а косвенные получены из анализа спектров нескольких десятков молодых звезд с массой, близкой к солнечной $M_{\odot}$ и возрастом между 0,1 и 100 млн. лет. По спектральным данным оценены температуры, массы, радиусы и характерные времена эволюции дисков (времена, за которые существенно меняется спектр)⁴. Эти параметры следует учитывать при построении моделей околосолнечного протопланетного диска.

Массы дисков находятся в основном в пределах от 0,01 до нескольких десятых $M_{\odot}$, что согласуется с оценкой для протопланетного околосолнечного диска, полученной восстановлением химического состава планет до солнечного с учетом комет и выброса тел в процессе роста планет. По этой оценке, масса околосолнечного диска равна 0,05—0,2 $M_{\odot}$. Радиусы околозвездных дисков составляют порядка 100 а. е., что согласуется с размером Солнечной системы (около 50 а. е.). По возрасту звезд, окруженных дисками, можно судить о возрасте самих дисков и следить за тем, как они меняются со временем. Оказалось, характерное время, за которое существенно меняется структура дисков вокруг молодых звезд солнечного типа, составляет 3—10 млн. лет.

Особый интерес представляют оценки температур околозвездных дисков на основании измеренных потоков энергии и формы спектра. На расстоянии 1 а. е. эти температуры для большинства звезд равны 100—200 К, а для некоторых и выше. Для подавляющего большинства звезд с дисками из оптических наблюдений определены светимость и масса самой звезды (без диска). Поэтому легко рассчитать температуру нагреваемого звездой диска методами, предложенными В. С. Сафроновым и японскими учеными под руководством К. Хаяши. Для звезды со светимостью и радиусом Солнца

температура диска на расстоянии 1 а. е. составляет около 100 К. Температуры дисков оказались заметно выше, чем если бы они нагревались излучением только центральной звезды. Это значит, что диски имеют внутренний источник нагрева, причем поток излучения, идущий изнутри диска, в среднем оказался больше внешнего потока, поглощаемого диском. Поскольку диски непрозрачны в инфракрасном и оптическом диапазонах, то оценка температуры относится к их излучающей поверхности, а в глубине, при нагреве изнутри, она может быть гораздо выше. Это особенно важно для космохимических приложений, так как вблизи экваториальной плоскости диска концентрируется основная масса вещества.

Природа внутреннего источника пока не вполне понятна. Когда диски вокруг молодых звезд еще не были обнаружены, Н. И. Шакура и Р. А. Сюняев предложили модель вязкого аккреционного диска вокруг черной дыры, в которой излучение диском тепла сопровождается радиальным переносом массы на звезду. Позже эту модель стали применять и для других дисков, в том числе протопланетных. Избыточное ультрафиолетовое и оптическое излучение, обнаруженное для ряда молодых звезд с дисками, свидетельствует в пользу существования аккреционного потока из диска на звезду, по оценкам, обычно составляющего 10^{-8} — $10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$. (Это излучение исходит из горячего пограничного слоя между звездой и диском, где останавливается падающее из диска вещество.)

Подавляющее большинство наблюдений относится к стадии, когда оптическая толстая оболочка вокруг звезды уже рассеялась и диск сформировался. Для более ранней стадии — формирования диска и его ранней эволюции внутри аккреционной оболочки с характерным временем 0,1—1 млн. лет — есть единичные данные наблюдений, свидетельствующие о существовании диска, но пока нет данных, позволяющих определить его параметры, в том числе температуру. Это связано с тем, что ни горячее ядро, ни диск не видны — они скрыты непрозрачной оболочкой. Поэтому все данные о диске (как и о ядре) на этой стадии получают из моделей коллапса протозвездной туманности. Наблюдения плотных ядер молекулярных межзвездных облаков, которые интерпретируются как протозвездные туманности до начала коллапса, дают исходные параметры для моделей: угловую скорость вращения, плотность и ее распределение по радиусу туманности. Неопределенность параметров соответствует неопреде-

⁴ Стром С. Е., Эдвардс С., Стром К. М. // *Науки о планетах*. М., 1989. С. 7—29; Beckwith V. W., Sargent A. I. et al. // *Astron. J.* 1990. V. 99. P. 924—945.

ленности углового момента в два порядка, а время коллапса и выпадения вещества на ядро и диск имеет разброс от 0,1 до 1 млн. лет. Это приводит к значительному разбросу в параметрах моделей, включая температуру.

КОСМОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ТЕМПЕРАТУРАХ В ПРОТОПЛАНЕТНОМ ДИСКЕ

Космохимия — еще одна область науки, которая дает богатую информацию об условиях и процессах в протопланетном околосолнечном диске, основанную главным образом на данных по химическому и изотопному составу метеоритов. Чтобы с помощью этих данных оценить температуру, привлекают результаты термодинамических расчетов конденсации и устойчивости характерных для метеоритов фаз, причем необходимо хотя бы грубо (с точностью до 1—2 порядков) знать давления в диске. Эти величины, полученные из космохимических данных и моделей диска, составляют на расстояниях Меркурия порядка 10^{-3} — 10^{-5} бар, а на расстоянии Сатурна 10^{-7} — 10^{-8} бар.

Наиболее ценную информацию об условиях в протопланетном диске несут самые примитивные из метеоритов — хондриты, образовавшиеся в нем около 4,5 млрд. лет назад. Они испытали сравнительно небольшие изменения, поэтому за исключением летучих элементов их состав близок к солнечному. Хондриты состоят из мелкозернистого (<10 мкм) малоизмененного вещества (матрицы) и миллиметровых силикатных включений (хондр), занимающих от нуля до 70 % объема метеорита.

Изучение хондр показало, что они образовались в кратковременных и локальных процессах (возможно, ударных) в протопланетном диске при температурах до 1600 К и выше. Вещество матрицы не нагревалось до столь высоких температур и потому позволяет получить информацию о медленных и нелокальных изменениях температур в диске⁵.

Состав матрицы хондритов указывает на отсутствие фракционирования в ней основных тугоплавких элементов (Ca, Al, Ti и др.) с температурами конденсации выше 1500 К. Аналогичные результаты получены для вещества дифференцированных метеоритов — ахондритов, напоминающих изверженные земные породы, а также для слабо-

измененных земных ксенолитов. Это позволяет считать, что когда начался рост пылевых частиц, «фоновые» температуры во внутренней области протопланетного диска, где образовались планеты земной группы и метеориты, не превышали 1500 К. Но этот предел может быть понижен до 1250 К, если учесть, что для нелетучих элементов с более высокой температурой конденсации (Si, Mg, Fe и др.) относительные содержания в хондритах довольно близки к солнечным. В то же время содержание умеренно летучих элементов (Rb, K, Na, S) по отношению к Si, которое в 2,5—4 раза ниже солнечного, требует температур около 1200 К. Но достигались ли эти температуры в области образования метеоритов в длительных нелокальных или же в кратковременных и локальных процессах, пока не ясно. В пользу последнего варианта говорит то, что содержание умеренно летучих в хондритах коррелирует с содержанием в них хондр.

О максимальных температурах в области образования Земли (~ 1000 — 1200 К) можно судить по относительному обеднению ее умеренно летучими элементами Na, K и Rb (в 4, 5 и 8 раз соответственно) по сравнению с хондритами Cl, в которых эти элементы находятся в солнечной пропорции. Это обеднение вряд ли было связано с ударными процессами, поскольку скорости, достаточные для нагрева тел до таких температур, достигались в области образования Земли лишь на поздней стадии роста планеты, когда основная масса вещества была сосредоточена в телах размерами не менее лунных, а зародыш Земли достигал марсианских и более крупных размеров и был окружен первичной атмосферой⁶.

Недавно получено еще одно ограничение на температуру в области образования хондритов. При термической обработке зерен графита одного из углистых хондритов был выделен неон, изотопный состав которого свидетельствует о его досолнечном происхождении. Максимальная температура, при которой неон может удерживаться частицей, около 900 К, что и ограничивает сверху температуру в диске.

Значительную часть матрицы углистых хондритов составляют гидросиликаты, наиболее термически устойчивые из которых распадают примерно при 600 К. Однако поскольку с большой вероятностью они образовались внутри родительских астероидов, это ограничение относится к более позднему времени, чем предыдущая оценка. Чтобы выросли эти тела, нужны сотни тысяч лет.

⁵ См. ссылки в: Макалкин А. Б., Дорофеева В. А. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 8. С. 34—51.

⁶ См. там же.

Наконец, важным космохимическим ограничением остается обсуждавшееся в начале статьи положение фронта конденсации водяного пара в протопланетном диске на расстоянии 4—5 а. е. при температуре около 150 К. Это может служить ограничением сверху на температуру в зоне Юпитера на той стадии эволюции, когда там происходил рост допланетных тел

МОДЕЛИ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ДИСКА

За последнее десятилетие появилось более десятка работ, в которых были построены теоретические модели протопланетного околосолнечного диска, рассчитаны распределения различных физических параметров, в том числе температур. Их большая часть относится к стадии коллапса, образования диска и ядра протосолнца, когда на них выпадает вещество из окружающей аккреционной оболочки. На точность оценки характеристик диска на этой стадии сильно влияет упоминавшаяся выше неопределенность важнейших исходных параметров моделей. В результате рассчитанные значения температур на расстоянии 1 а. е. от ядра протосолнца в разных моделях варьируют от 400 до 1500 К. Учет нагрева диска рассеянным в аккреционной оболочке излучением ядра протосолнца⁷ приводит к высоким значениям температур на поверхности диска (до 1200 К на 1 а. е.) и к подавлению конвекции в нем. Поэтому остается вопрос об источнике турбулентности, диссипации энергии и переноса углового момента в диске.

Для построения моделей околосолнечного диска на более поздней стадии, когда аккреция на ядро и диск закончилась, аккреционная оболочка рассеялась и остался только диск вокруг молодого Солнца, можно использовать в качестве ограничений данные наблюдений по молодым звездам с дисками. Они позволяют существенно сузить выбор исходных параметров.

Приведенным астрофизическим и космохимическим ограничениям удовлетворяют модели диска только с внутренним источником нагрева. В большинстве работ протопланетный диск рассматривается как вязкий аккреционный, где внутренний источник нагрева связан с вязкостью диска. Но многие модели дают характерные времена эволюции ≤ 1 млн. лет, что не соответствует новым данным наблюдений. В своих последних моделях⁸ мы подбираем такие значения исход-

ных параметров, которые соответствуют характерному времени эволюции диска в 3—10 млн. лет.

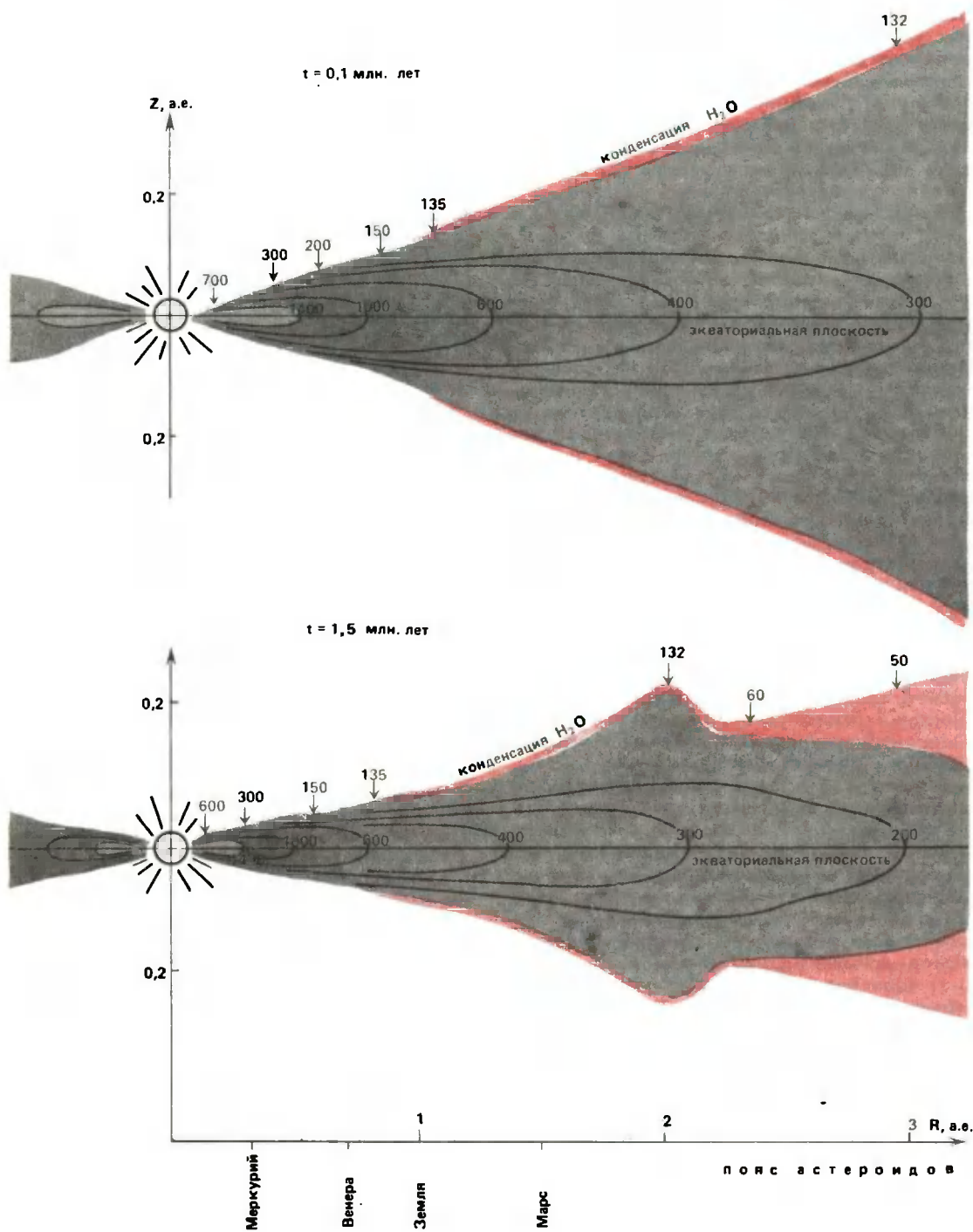
В значительной части существующих моделей в качестве единственного источника вязкости рассматривается турбулентность, связанная с тепловой конвекцией поперек диска. Но при этом возникают трудности, часть которых мы отметим при обсуждении результатов своих моделей. Учитывая, что конкретный механизм вязкости пока не известен, мы не задаем его, а в рамках моделей вязкого аккреционного диска выражаем вязкость через параметр α , введенный Шакурой и Сюняевым. Это особенно подходит для случая, когда вязкость связана с турбулентностью, чем бы она ни была вызвана. В этом случае параметр α означает отношение турбулентной скорости к скорости звука.

Величина параметра α , а также значения потока массы через диск на Солнце выбраны нами так, чтобы модели удовлетворяли астрофизическим данным по характерному времени эволюции диска, а также соответствовали распределению массы и радиусу околосолнечного протопланетного диска по данным о Солнечной системе. Мы учитываем и внешний источник нагрева — солнечное излучение, поток которого уменьшается со временем с уменьшением светимости и радиуса молодого Солнца. Как показали наши расчеты, температура в экваториальной плоскости диска за 1,5 млн. лет убывает от 850 до 550 К на расстоянии 1 а. е., давление меняется от $10^{-4,5}$ до $10^{-5,5}$ бар, а поверхностная плотность диска — от 2×10^3 до $1 \cdot 10^3$ г · см⁻².

Существенно новым элементом наших моделей является то, что при расчете нагрева диска учитывается форма его оптической поверхности, на которой поглощается солнечное излучение. Она близка к излучающей поверхности, с которой уходит собственное тепловое излучение диска, поэтому мы будем говорить о единой поверхности. От ее наклона и кривизны зависит, какая доля солнечного излучения попадет на нее и будет поглощена диском, нагревая его приповерхностные слои. А кривизна, в свою очередь, зависит от структуры диска, прежде всего фазовых переходов в нем. Например, когда в глубине диска при 1400 К начинают испаряться силикаты и железо, резко падает непрозрачность вещества. Излучение из области, прилегающей к экваториальной плоскости диска, легко выносятся к поверхности зоны испарения, поэтому перепад температур между ними оказывается гораздо ниже, чем на большем радиальном расстоянии, где силикаты и железо не испарены. В резуль-

⁷ Макалкин А. Б. // Астрон. вестн. 1987. Т. 21. № 24. С. 324—327.

⁸ Макалкин А. Б., Дорофеева В. А. Указ. соч.



тате различия в температуре различна и кривизна оптической (излучающей) поверхности над этими областями. Ее форма над областью испарения такова, что солнечные лучи попадают на нее, и поток поглощенного излучения примерно равен потоку излучения из диска от внутреннего источника нагрева. А на чуть большем расстоянии ($>0,5$ а. е.) солнечные лучи не попадают на поверхность. Она находится как бы в тени. Здесь диск нагревается только внутренним источником.

Примерно с расстояния 1 а. е. (для момента 0,1 млн. лет) начинается область, где на высоте оптической поверхности конденсируется водяной пар. При низких давлениях в диске он, минуя жидкую фазу, сразу превращается в лед. В области конденсации H_2O , простирающейся на стадии 0,1 млн. лет до 5 а. е. (1,5 млн. лет; 0,7—2 а. е.), из-за высокой кривизны диска поглощаемый поток солнечного излучения существенно (во внешней части — в несколько десятков раз) больше потока из диска, создаваемого внутренним источником. Это приводит к уменьшению перепада температур между экваториальной плоскостью и поверхностью. В результате вертикальный градиент температуры в диске становится существенно ниже того, что необходимо для существования конвекции (кроме узкой зоны вокруг экваториальной плоскости). Следовательно, конвекция едва ли могла обеспечить необходимую вязкость диска в этой области. Не выполняется условие для существования конвекции и в области испарения железа и силикатов. На соответствующих расстояниях она могла существовать только в узком слое над и под этой областью. Так что конвекция, вероятно, не была главным источником вязкости в диске, но там, где условия для нее выполнялись, она могла быть дополнительным источником вязкости и механизмом переноса массы и углового момента в диске.

Профили протопланетного диска с изотермами [сплошные линии] и температурами на оптической [излучающей] поверхности (в кельвинах). По осям отложены расстояния в астрономических единицах. Ось Z совпадает с осью вращения диска, ось R параллельна его экваториальной плоскости. Серым показана область существования силикатных пылевых частиц, голубым — область, где эти частицы покрыты оболочкой из водяного льда. Внутренняя область, ограниченная изотермой 1400 К, соответствует частичному испарению силикатов. На поверхности диска отмечена область конденсации H_2O , где сосуществуют водяной пар и лед. Верхний и нижний профили диска соответствуют двум моментам времени.



Влияние солнечного излучения и конденсации H_2O на строение протопланетного диска. При конденсации водяного пара с образованием льда непрозрачность вещества диска увеличивается примерно в пять раз, что значительно увеличивает и высоту оптической поверхности диска. В отсутствие солнечного облучения подъем поверхности был бы резким (показан пунктиром). Но солнечное излучение, почти отвесно падая на выступ поверхности, испаряет лед и «срезает» выступ. В результате образуется двухфазная область «лед — пар», имеющая высокую кривизну и хорошо освещаемая Солнцем (обозначена сплошной синей линией). Дальний от Солнца край этой области соответствует 100 % конденсации льда, когда непрозрачность, а вместе с ней и высота поверхности, не могут более увеличиваться. Поверхность оказывается в тени, температура ее резко падает, с ней уменьшается высота поверхности. Она становится такой же, как и в отсутствие солнечного нагрева.

СЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ПЛАНЕТ

Первое из них связано с наличием двухфазных зон в представленных моделях протопланетного диска, особенно зоны испарения — конденсации водяного льда. Положение фронта испарения льда соответствует границе между областью образования планет земной группы и астероидов и областью планет-гигантов. Из теории аккумуляции планет следует, что для объяснения дефицита массы в поясе астероидов необходимо обеспечить опережающий рост допланетных тел в области образования Юпитера. Увеличение поверхностной плотности твердого вещества в диске, происходящее при конденсации льда, увеличивает скорость роста тел, но недостаточно сильно, чтобы обеспечить здесь значительное опережение роста по сравнению с внутренней частью пояса астероидов. Один из способов дополнительного увеличения этого параметра в области образования Юпитера — предложенный Д. Стивенсоном и Д. Лунином перенос водяного пара под действием турбулентной диффузии из внутренних областей диска в область Юпитера, где он конденсируется в виде льда. Наши модели позволяют предложить еще один механизм увеличения поверхностной плотности твердого вещества в этой области. Из них следует, что условия существования конвекции выполняются за пределами двухфазной области, на больших радиальных расстояниях, тогда как внутри

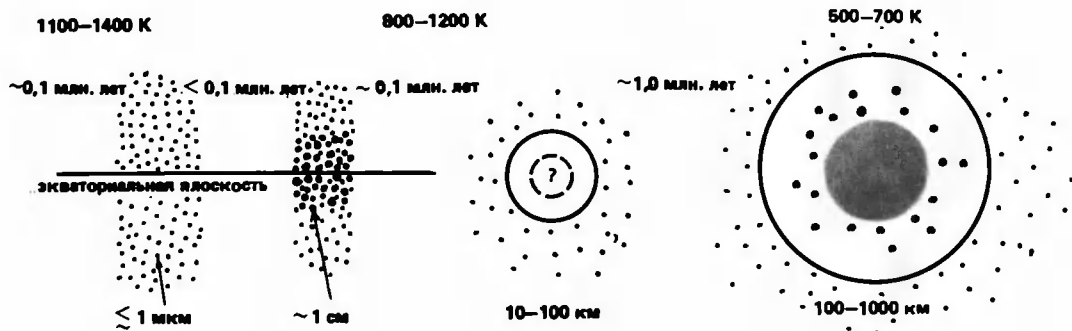


Схема эволюции допланетного вещества в протопланетном диске в области образования Земли и Венеры. Указаны промежутки времени между отдельными стадиями эволюции, размеры пылевых частиц и допланетных тел на этих стадиях, а также температуры вблизи экваториальной плоскости диска, где находится большая часть допланетного вещества и образуются допланетные тела. Тела размером 10—100 км, образовавшиеся за 0,1 млн. лет, возможно, уже расслоены на богатое железом ядро и силикатную мантию. Более высока вероятность этого расслоения у тел размером 100—1000 км, выросших за 1 млн. лет.

области, вблизи ее внешнего края конвекция подавлена. Поскольку конвекция — один из источников турбулентности и вязкости и вносит вклад в перенос массы по радиусу диска, величина направленного к Солнцу радиального потока массы должна быть больше в области образования планет-гигантов, чем астероидов; это приведет к накоплению массы на границе между этими двумя областями и будет способствовать опережающему росту допланетных тел в зоне Юпитера. Аналогичный процесс накопления массы мог идти и вблизи внешней границы области конденсации железа и силикатов, препятствуя образованию планет внутри орбиты Меркурия.

Построенные модели показывают термические условия в протопланетном диске, дают тот «температурный фон», на котором шли ранние стадии процесса роста планет. Температуры для самой ранней стадии (<0,1 млн. лет) оценены нами по моделям образования ядра протосолнца и диска⁹, а для более поздней стадии — взяты из наших моделей околосолнечного диска¹⁰. Согласно современным представлениям, ранние стадии эволюции (оседание пыли к экваториальной плоскости, образование пылевых сгущений и планетезималей, рост допланетных тел до 100—1000-километровых размеров)

проходили в присутствии газа¹¹. Возможным источником вязкости и внутреннего нагрева газопылевого диска является турбулентность. Некоторые зарубежные исследователи полагают, что пока в диске существовала турбулентность, пыль не могла осесть к экваториальной плоскости, а потому не могли начаться все последующие стадии образования планет. Однако изучение седиментации показывает, что она возможна и при конвекции и турбулентности, которые удлиняют процесс оседания, но не запрещают его. При этом процесс оседания проходит неоднородно, так что значительная доля мелкой пыли долго, в течение 1—10 млн. лет, остается взвешенной в газе по всей толщине диска. Это обеспечивает высокую непрозрачность диска (что подтверждается астрофизическими данными) и способствует поддержанию в глубине его более высокой температуры, чем на поверхности. Таким образом, рост допланетных тел в области образования внутренних планет мог проходить в нагретом, медленно остывающем газопылевом диске.

Допланетные тела, нагреваемые изнутри, начиная уже с 10—100-километровых размеров, не успевают охлаждаться в процессе роста. Так, 10-километровые тела остывают лишь на 10 K за 0,1 млн. лет, но за несколько десятых миллиона лет они успевают вырасти до 100-километровых размеров, когда скорость охлаждения становится около 1 K/млн. лет. Поэтому температура внутри тел не меньше температуры окружающего газа в протопланетном диске на стадии существования 10-километровых тел. Повышенные температуры на этой стадии в области образования внутренних планет обеспечивали нагрев недр допланетных тел до 800—1200 K в области Земли и Венеры. Этот и дополнительный нагрев (одним из источ-

⁹ Рузмайкина Т. В., Макалкин А. Б. // Научки о планетах. М., 1989. С. 43—63.

¹⁰ Макалкин А. Б., Дорофеева В. А. Указ. соч.

¹¹ См., например: Витязев А. В., Печерникова Г. В., Сафронов В. С. Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. М., 1990.

ников которого могли быть короткоживущие изотопы, и прежде всего ^{26}Al) способствовали расплавлению и дифференциации допланетных тел, начиная уже со 100-километровых размеров. По оценкам, на это требуется 1—2 млн. лет. Следовательно, вполне вероятно, что допланетные тела 100—1000-километровых размеров были уже расслоены на железное ядро и силикатную мантию. Столь ранняя их дифференциация могла существенно повлиять на образование ядра планеты, ее начальное состояние, а также химический состав ее оболочек.

Упомянем еще одно следствие высоких температур внутри протопланетного диска. Температуры в области Земли на ранних стадиях ее образования (свыше 800 K) превышали температуру конденсации сульфида железа. Поэтому наши модели, как и рассмотренные космохимические ограничения на температуры, позволяют ожидать, что сульфид железа не является основным легким компонентом земного ядра. С еще большей вероятностью этот вывод относится к ядру Венеры, поскольку в области ее образования температуры были еще выше. Вопрос о том, какой элемент, помимо железа, преобладает в ядре Земли и Венеры, важен для понимания эволюции глубоких недр планет.

Конечно, представленная в статье картина температурных условий в протопланетном диске и эволюции допланетного вещества неокончательна. Пока астрофизические и космохимические данные приводят к большому разбросу в исходных параметрах моделей. Но накопление информации о дисках вокруг молодых звезд происходит очень быстро. Есть надежда, что в ближайшее время будет уточнено характерное время эволюции не просто диска в целом, но его

частей на разных расстояниях от звезды. Можно будет определить, где в нем идет рост пылевых частиц и с какой скоростью, что поможет бы в понимании начальных этапов образования планет. Кроме того, возможно появление новых данных о стадии формирования диска внутри аккреционной оболочки. Это позволит наложить существенные ограничения на модели образования диска.

В космохимических исследованиях перспективен дальнейший анализ отдельных фракций и включений в метеоритах, в частности, для понимания, какая доля пыли не прошла высокотемпературный нагрев в протопланетном диске и представляет лишь слегка измененное межзвездное, досолнечное вещество.

Представляет интерес рассчитать спектр околозвездных дисков, имеющих на поверхности широкую область постоянной температуры, чтобы оценить, насколько модели, учитывающие фазовые переходы, будут лучше удовлетворять данным наблюдений.

Очень важно выяснить физический механизм внутреннего источника нагрева и вязкости протопланетного диска. От этого будет зависеть прогресс в изучении внутренней структуры диска, распределения в нем температур и других физических параметров и в понимании всего процесса его эволюции.

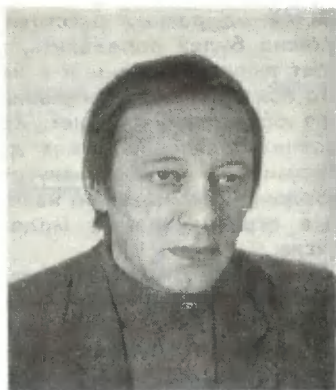
Упомянутая в статье возможность раннего расплавления и расслоения допланетных тел в значительной степени зависит от мощности внутреннего источника их нагрева. Оценка концентрации в них изотопа ^{26}Al по метеоритным данным пока содержит большую неопределенность. Необходимо не только уточнить эту оценку, но и внимательно рассмотреть альтернативные источники нагрева тел.

Образование планетной системы Солнца

А. В. Витязев

СТРАННО, но обнаружение околозвездных дисков не вызвало в научном мире особого ажиотажа. На страницах научно-популярных изданий об этих аналогах молодой Солнечной системы пишут гораздо реже, чем об НЛО. Видимо, многие не осознают, что сбылось предсказание великих ученых XVIII в. — философа И. Канта и

математика П. Лапласа, предполагавших, что на месте современной планетной системы около молодого Солнца вращался диск из разреженного вещества. К идее газовой-пылевого диска как колыбели планет уже в нашем столетии обращались многие крупные ученые — Х. Берлаге, К. фон Вайцзеккер, Ф. Хойл, Д. Тер Хаар и другие. Однако



Андрей Васильевич Витязев, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Область научных интересов — планетная космогония, теория эволюции Земли и планет.

впервые сценарий формирования планет, рассматриваемый сегодня фактически всеми научными школами, был описан в работах О. Ю. Шмидта и его коллег¹.

В предшествующей статье² освещены современные представления об образовании и ранних стадиях эволюции околосолнечного диска, его основных физических характеристиках. Активный поиск околозвездных дисков и численное моделирование процессов, сопровождающих формирование протозвезд, значительно продвинули нас в понимании первых десятков миллионов лет жизни этих загадочных объектов. И все же неясны еще многие детали. Так, пока непонятно, насколько далеко простирался первичный диск, в частности, выходил ли он за пределы современной планетной системы? Какой была его исходная масса? Насколько она превышала минимальную, получаемую при добавлении газовой составляющей (в основном водорода и гелия) к веществу современных планет? Какие электромагнитные процессы обусловили взаимодействие молодого Солнца и прилегающей горячей — частично ионизованной — области диска? Вместе с тем наблюдения в инфракрасном и миллиметровом диапазонах свидетельствуют, что диски

около молодых звезд солнечной массы различаются по размеру, массе и, вероятно, внутренней структуре.

В такой ситуации необходимо исследовать большой набор моделей, чтобы сузить интервал неопределенности и отобрать те, которые можно рассматривать как аналог планетной системы. Другими словами, в приемлемой компьютерной модели мы должны устойчиво получать если не девять, то, скажем, восемь или десять планет. В этой модели в ближней к Солнцу зоне должны формироваться планеты, близкие по массе и составу к планетам земной группы, а в дальней — к планетам-гигантам. Необходимо уточнить, какими при этом были интенсивность солнечного ветра и ультрафиолетового излучения, а также другие факторы, способствовавшие удалению газа из ближней и дальней зон, но не помешавшие аккреции значительной его доли на Юпитер и менее заметной — на Сатурн. У больших планет при численном моделировании мы должны получать богатые спутниковые системы, на периферии Солнечной системы — кометное облако и т. д.

Итак, рассмотрим только что сформировавшийся протопланетный диск и проследим его историю в рамках проделанных расчетов³. Что мы знаем достаточно хорошо (или думаем, что знаем), а какие вопросы пока не поддаются решению?

ОТ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ К ПРОТОПЛАНЕТНЫМ ТЕЛАМ

Много сил пришлось затратить на изучение опускания пыли к центральной плоскости протопланетного диска, формирования пылевого субдиска и развития в нем гравитационной неустойчивости. Если допустить эффективное слипание пылинок (первоначальные размеры межзвездных пылинок $\sim 10^{-5}$ см), то к моменту достижения ими центральной плоскости они должны были вырастать в среднем до сантиметровых размеров⁴. Для такого оседания в спокойном (не турбулизированном) газе потребовались бы сотни оборотов вещества на данном расстоянии от Солнца.

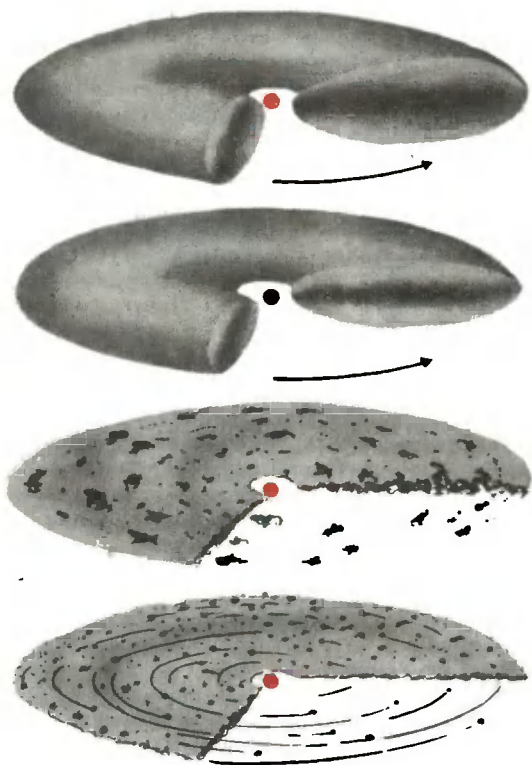
В рассмотренных моделях диски были умеренно массивными и не очень горячими, где газ не ионизован и вращение слабо отличалось от кеплеровского. Пылинки счита-

¹ Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. М., 1950; Гуревич Л. Э., Лебединский А. И. // Докл. АН СССР. 1950. Т. 74. № 4. С. 673—676; № 5. С. 1061—1064.

² См. статью А. Б. Макалкина и В. А. Дорофеевой в этом номере «Природы».

³ Подробнее см.: Витязев А. В., Печерникова Г. В., Сафронов В. С. Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. М., 1990.

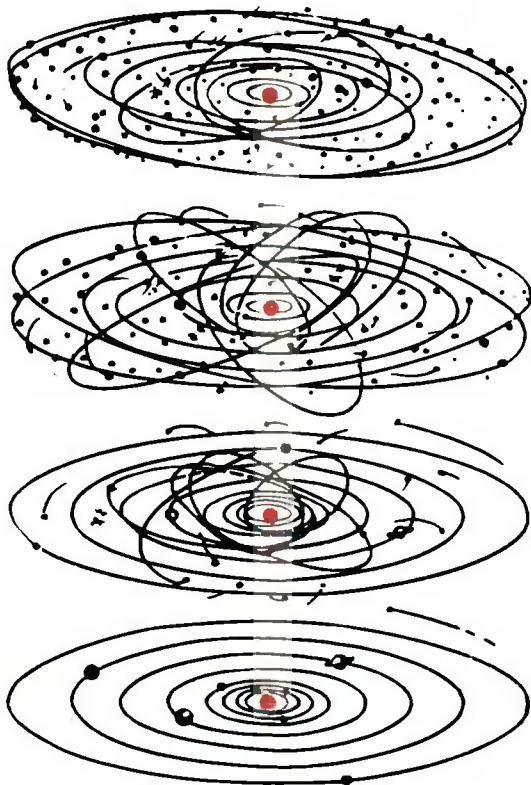
⁴ Сафронов В. С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет. М., 1969.



Эволюция допланетного диска. Слева: опускание пыли в газе; образование пылевого субдиска; его распад в результате гравитационной неустойчивости на мириады пылевых сгущений; начало диссипации газа в межзвездное пространство (в центре — молодое Солнце). Справа: образование роя планетезималей; их объединение в планеты; завершение диссипации газа и аккреция его остатков на Юпитер и Сатурн; завершение формирования планетной системы Солнца.

лись сферическими с плотностью $\approx 1 \text{ г/см}^3$. В действительности же это могли быть весьма рыхлые агрегаты, подобные собираемым в стратосфере межпланетным частицам. При высокой пористости и низкой плотности пылевых частиц скорость их перемещения к центральной плоскости газового диска, да и эффективность столкновения и слипания, могли сильно отличаться от принятых В. С. Сафроновым. Более того, сильно развитая поверхность таких «пушистых» агрегатов могла сказаться на взаимодействии с газовой фазой и эффективности химических реакций.

В этой связи интересен был бы лабораторный эксперимент, моделирующий рост межзвездных пылинок в земных вакуумных установках или на лунном полигоне. Он помог бы продвинуться в понимании процесса формирования пылевого субдиска: более



точно оценить время опускания пылинок, выяснить вопрос о турбулентности в газовой составляющей диска.

Дело в том, что при исследовании дополнительного диска был, видимо, пропущен эффект возможной генерации слабой турбулентности самой пылью. В механике жидкости и газа, в теории аэрозолей известна так называемая конвективная (или циркуляционная) неустойчивость, развивающаяся при седиментации в достаточно мощном и протяженном слое пыли или аэрозоля. Пылинки, опускающиеся в газе (по закону Стокса, в плотном газе, или, по закону Эпштейна, в разреженном), участвуют в коллективных вихревых течениях, причем размер наибольших вихрей близок к толщине слоя. Для диска с кеплеровским вращением максимальные размеры вихрей в начале процесса должны быть несколько меньше толщины пылевого слоя из-за размывающего действия сдвиговых течений.

Важно оценить продолжительность этой стадии опускания пыли в режиме самоподдерживающейся турбулентности и сравнить результаты с данными, полученными при наблюдении пылевых дисков около молодых звезд Т-Тельца. Может быть, правы

исследователи, считающие, что в таком диске могли вырастать «огромные» (по земным меркам) пылевые комья километровых и более размеров? Или же окажется верной позиция тех ученых, которые вслед за К. Эджвортом, Л. Э. Гуревичем и А. И. Лебединским пришли к выводу, что сначала образовался тонкий пылевой слой, и только потом, вследствие гравитационной неустойчивости, он распался на пылевые сгущения астероидных размеров? Но даже в этом случае, как было показано автором и Г. В. Печерниковой, диск мог распасться и пылевые сгущения могли образоваться до завершения опускания пыли.

Несмотря на ряд нерешенных вопросов, среди исследователей преобладает мнение, что за 10^3 — 10^4 лет в окосолнечном диске образовались мириады разных по массе, размеру и плотности газопылевых сгущений. Плотность, например, могла различаться на несколько порядков: от так называемой критической плотности Роша, зависящей от расстояния от Солнца ($\sim 10^{-6}$ г/см³ на расстоянии 1 а. е.), до типичной плотности современных кометных ядер и астероидов (1 — 4 г/см³). За такими допланетными телами плотностью ≥ 1 г/см³ и размером в десятки и сотни километров начиная с работ Ф. Мультона и С. Чемберлина закрепилось название «планетезимали».

ОТ ПЛАНЕТЕЗИМАЛЕЙ ДО ПЛАНЕТ

Ясно, что попытки рассчитать дальнейшее поведение каждого из огромного количества (скажем, 10^{15} — 10^{17}) тел, движущихся по сложным орбитам, гравитационно взаимодействующих, сталкивающихся, дробящихся и объединяющихся, так же бессмысленны, как и расчеты траекторий газовых молекул. Для исследования этой стадии эволюции планетезималей используют уравнения кинетической теории. Основные изучаемые характеристики — распределения планетезималей и пылевых сгущений по массе m и размеру r , а также распределение относительных скоростей v . Для изучения спектров масс $n(m)$ и размеров $n(r)$ используется уравнение, изначально выведенное М. Смолуховским для коагулирующих частиц, а для определения спектра скоростей $n(v)$ — различные модификации уравнения Фоккера — Планка.

Наши расчеты показали, что за десятки миллионов лет крупные пылевые сгущения поглощают более мелкие и оставшуюся пыль, уплотняются и превращаются в огромные луноподобные тела. При этом существенная доля твердого вещества сосредото-

чивается в мелких телах и осколках, образовавшихся в результате столкновений и разрушения части планетезималей. Распределение тел по массам близко к степенному: $n(m) \sim m^{-q}$, где $q = 1,5$ — $1,8$, а средняя отно-

сительная скорость $\bar{v} \leq \sqrt{\frac{Gm}{r}}$ (G — гравитационная постоянная), т. е. близка к скорости «убегания» вещества с поверхности самых крупных тел в данной зоне. Средние эксцентриситеты $\bar{e}$ и наклоны i орбит основной массы тел сравнимы ($i \approx \bar{e}^2$) и порядка $\bar{v}/v_k$, где $v_k = \sqrt{\frac{GM_\odot}{R}}$ — кеплеровские скорости тел на расстоянии R от Солнца.

Стремление к равномерному распределению кинетической энергии при хаотическом движении ведет к тому, что у крупных тел относительные скорости в среднем несколько меньше, чем у малых (соответственно меньше эксцентриситеты и наклоны орбит). По мере роста крупных тел растут и средние относительные скорости. Но у самых крупных тел, начиная с определенной массы, относительные скорости, эксцентриситеты и наклоны орбит уменьшаются. Это происходит, когда они уже «вычерпали» заметную долю вещества, сосредоточенного в малых телах, и расстояния между ними стали гораздо больше ϵR (где ϵ — эксцентриситет орбиты крупного тела). «Вычерпывая» оставшееся вещество из этих промежутков — зон питания, самые крупные тела превращаются в планеты.

Рассмотрев модель диска с задаваемыми массой внешним R^* и внутренним R_* размерами, мы смогли оценить число формирующихся планет:

$$N \approx \ln(R^*/R_*)/2\bar{e},$$

а также получить формулу для относительных расстояний между планетами с номерами n и $n+1$, объясняющую физическую суть известного правила Тициуса—Боде:

$$R_{n+1}/R_n \approx (1+\bar{e})/(1-\bar{e}).$$

Наблюдаемые значения отношений R_{n+1}/R_n в планетной системе приведены в таблице вместе с теоретическими оценками, выполненными автором совместно с Г. В. Печерниковой и В. С. Сафроновым. Детальное описание моделей, оценки эксцентриситетов и наклонов орбит формирующихся планет, осей и средних скоростей их осевого вращения заинтересованный читатель найдет в нашей книге⁵. Здесь же следует подчеркнуть,

⁵ Витязев А. В., Печерникова Г. В., Сафронов В. С. Указ. соч.

Отношения орбитальных расстояний в планетной системе

Пары планет	R_{n+1}/R_n (наблюдения)	R_{n+1}/R_n (теория)
Венера — Меркурий	1,87	1,5—1,6
Земля — Венера	1,38	
Марс — Земля	1,52	
Астероиды (Церера) — Марс	1,77	1,8—2
Юпитер — Церера	1,88	
Сатурн — Юпитер	1,83	
Уран — Сатурн	2,01	
Нептун — Уран	1,57	

что в обе формулы входит величина эксцентриситета орбит, которая сама зависит от спектра масс. В самосогласованной задаче одновременно определяются и максимальные массы планет и максимальные эксцентриситеты, равно как и другие характеристики планетной системы.

Попытки численно моделировать формирование планет предпринимались рядом зарубежных и отечественных исследователей. Стартуя с сотни и более планетезималей, довольно равномерно распределенных в некоторой зоне около центрального тела (Солнца), исследователи стремились получить аналог современной планетной системы. В настоящее время существуют упрощенные программы для персональных компьютеров типа XT/AT, доступные даже для университетских лабораторных занятий. Тем не менее, несмотря на значительный прогресс, мы знаем далеко не все о формировании планетной системы. В частности, неясно, чем обусловлены особенности распределения вещества в поясе астероидов и спутниковых системах. Но это тема для отдельного разговора.

КОСМОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭВОЛЮЦИИ ДИСКА

Одновременно с динамической эволюцией допланетного диска менялся характер физико-химических процессов в нем. После удаления газа из ближней и дальней зон и его аккреции на Юпитер и Сатурн вещество преобразовывалось в основном в недрах тел и гигантских облаках взрывов при катастрофических столкновениях этих тел или их падении на формирующиеся планеты. В земных коллекциях метеоритов представлен широкий набор образцов вещества, от достаточно примитивных углистых хондритов до сильно дифференцированных ахондритов

(напоминающих лунные и земные базальты) и железоникелевых метеоритов.

В последние десятилетия лабораторные исследования внеземного вещества велись широким фронтом, и в результате постепенно вырисовывается картина весьма сложной химической эволюции. Если 10—15 лет назад многие надеялись объяснить все разнообразие химического и минерального состава тел Солнечной системы особенностями конденсации газа солнечного состава в модели горячего диска, то сейчас ясно, что столь прямолинейный подход потерпел неудачу. Так, в углистых хондритах обнаружилось присутствие межзвездного вещества, а в образцах наиболее широко представленных в метеоритных коллекциях обыкновенных хондритов — включения вещества, явно прошедшего плавление и дифференциацию. В наших работах показано, что хондры (миллиметровые шарики, составляющие десятки процентов общей массы обыкновенных хондритов) вполне могли возникнуть в остывающем облаке после приведшего к взрыву катастрофического столкновения достаточно крупных планетезималей. Это представление о хондрах как застывших каплях «огненного дождя», высказанное А. Сорби еще в прошлом веке, становится все более популярным. Если эта идея подтвердится, можно будет считать, что мы продвинулись в понимании химической эволюции допланетного диска.

Конечно, было бы приятно сопроводить картину динамической эволюции диска подробным описанием химической эволюции, в какой-то мере записанной в образцах метеоритного вещества. И все же не только эстетические требования движут исследователями. Недра планет, спутников, астероидов, комет да и самой Земли недоступны непосредственному изучению. Наши представления о земных оболочках, ограничения на их состав прямо или косвенно зависят от полноты знаний о примитивном веществе, его эволюции и составе тел, сформировавшихся планету.

Недавно мы попытались оценить вклад разных типов метеоритного вещества в смесь, отвечающую по плотности и изотопному составу кислорода земным породам. Расчеты показали, что углистые хондриты могли составлять около 5 %, обыкновенные хондриты и эстатиты — не более 50 %, ахондриты и железные метеориты — свыше 70 %. Но эти оценки грубы и не очень надежны. Нет уверенности в полноте метеоритной коллекции, и к тому же мы плохо знаем, насколько вещество из пояса астероидов (если даже оно достаточно полно представлено известными классами метеори-

тов) тождественно веществу тел, сформировавшихся Землю.

По мнению многих специалистов, сильная обогащенность Меркурия железом явно связана с его образованием в горячей зоне близ молодого Солнца. В работах Г. В. Печерниковой, В. С. Сафронова и автора рассмотрена другая возможность. Выше отмечалось, что на стадии, предшествовавшей появлению планет, возникла многочисленная популяция крупных тел, подобных Луне и Марсу. Учет их возможных столкновений с растущими планетами ведет к кардинальному пересмотру прежних представлений о заключительной стадии аккумуляции. Прежде всего столкновения растущих планет с такими крупными телами должны были вызывать более интенсивный нагрев, чем считалось ранее. В результате плавление могло начаться при массах растущих планет порядка 0,1 от их современных значений. Следовательно, можно говорить об очень раннем начале дифференциации вещества и росте железных ядер по существу при «набирании» планетой основной массы. Отсюда и раннее появление силикатных оболочек.

А не могла ли большая часть силикатной оболочки прото-Меркурия быть «сорвана» в результате единичного или многократного столкновения с достаточно крупным телом (телами)? Ряд фактов свидетельствует в пользу такого предположения. Во-первых, даже при небольшом эксцентриситете тел в зоне Меркурия кеплеровские скорости здесь — вблизи Солнца — настолько велики, что обеспечивают более высокие скорости столкновения, а следовательно, и большую долю вещества, выбрасываемого на гелиоцентрические орбиты. Не исключено, что относительно большой эксцентриситет орбиты Меркурия — следствие древних катастрофических столкновений. Во-вторых, достаточно было бы $1/3$ — $1/5$ массы силикатной оболочки Меркурия попасть на Венеру (остальная часть могла выпасть на Солнце или вернуться на Меркурий), чтобы обеспечить 1—2 %-ный дефицит железа на Венере по сравнению с Землей. Некоторая нерегулярность в относительных расстояниях планет земной группы подтверждает подобную возможность.

На специальной конференции в 1986 г. в Тусоне (штат Аризона, США) многие исследователи поддержали эту идею. И все-таки она воспринимается пока как довольно «сумасшедшая». Гипотеза катастрофического столкновения прото-Земли с марсоподобным телом, предложенная ранее для объяснения формирования массивного долуночного

околоземного роя, также остается если не опровергнутой, то и не доказанной. Дело за детальными расчетами последствий таких столкновений и сравнительным исследованием химического и изотопного состава лунных, земных и венерианских мантийных пород. Пока же космохимические данные и результаты предварительных расчетов свидетельствуют о весьма интенсивной ударной переработке вещества родительских тел метеоритов.

РАННЯЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЗЕМЛИ

Наиболее принципиально со времен Шмидта изменились наши взгляды на первичное состояние Земли. В 50-х годах, когда закладывались основы нынешней теории формирования планет, ожидалось, что образовавшиеся из планетезималей планеты были квазиоднородными и достаточно холодными. Предполагалось, что лишь спустя сотни миллионов лет благодаря распаду радиоактивных урана, тория и калия планета заметно нагрелась, происходила дифференциация ее на оболочки, выделялось земное ядро. Даже если исходить из гораздо более поздних оценок В. С. Сафронова⁶, центральным областям первичной Земли отвечает температура менее 1000 °С, глубинам 300—500 км — близость к температурам плавления (~1500 °С).

Модельные расчеты тепловой истории Земли, проведенные Е. А. Любимовой, С. В. Маевой и автором, а также рядом зарубежных исследователей, были основаны на этих старых оценках первичной температуры. Из этой же модели однородной и холодной первичной Земли до сих пор исходят многие специалисты, изучающие расслоение вещества Земли на железо и силикаты путем дифференциации.

Первые указания на значительную роль горячего состояния первичных планет дали лунные экспедиции. Косвенным свидетельством многие считают и древность поверхностей Меркурия и Марса, испещренных кратерами, а также предполагаемую дифференцированность их недр. Пока, к сожалению, мы не имеем достоверного доказательства существования ядра у Меркурия. Относительно малый момент инерции Марса говорит в пользу небольшого ядра, возникшего больше миллиарда лет назад.

Данные уран-свинцового изотопного метода для дифференцированных метеоритов подтвердили динамические оценки длительности планетезимальной стадии — де-

⁶ Сафронов В. С. Указ. соч.

сятки миллионов лет. Разброс возрастов метеоритов, определенный йод-ксеноновым методом, также не противоречит этим цифрам. Следовательно, уже на планетезимальной стадии шла активная дифференциация вещества, вызванная его ударным плавлением и дегазацией. Отсюда остается лишь шаг до представлений о весьма раннем и эф-

фективном нагреве растущей Земли, ее частичном плавлении и дифференциации, начале формирования первичных оболочек еще на стадии роста планеты.

Так получилось, что априорные взгляды Шмидта на начальное состояние Земли оказались опровергнуты развитием его собственных идей.

Изотопное моделирование ранней эволюции Земли

И. Я. Азбель, И. Н. Толстихин



Ирма Яковлевна Азбель, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Геологического института Кольского научного центра АН СССР. Занимается решением сейсмических и геохимических задач методом численного моделирования.

Игорь Несторович Толстихин, доктор химических наук, главный научный сотрудник того же института. Один из ведущих специалистов в области геохимии изотопов. Им впервые обнаружен мантийный гелий с высоким соотношением изотопов $^3\text{He}/^4\text{He}$, разработаны модели дегазации Земли.

УНИКАЛЬНЫЕ особенности геохимии радиогенных изотопов позволяют рассматривать эту область науки как ключевую для понимания эволюции Земли и основных ее резервуаров — мантии, коры, атмосферы. Во-первых, на основе изотопно-геохимических данных может быть получена надежная информация о времени и последовательности геологических процессов, а также о среднем возрасте корового и мантийного резервуаров. Во-вторых, изотопное датирование (его изохронных вариантов) дает возможность найти соотношения радиоген-

ного и стабильного изотопов в источнике вещества исследуемых горных пород (например, в мантии) и проследить вариации этих соотношений во времени, т. е. получить сведения об эволюции древних и глубинных резервуаров планеты. В-третьих, из-за различий в геохимическом поведении элементов, составляющих геохронометрические системы, сравнение данных для разных систем позволяет выяснить, какой из ведущих геохимических процессов — фракционирование или смешение — преобладал, какими параметрами эти процессы контролировались.

Благодаря накопленному большому объему изотопных данных появилась возможность моделировать эволюцию земных резервуаров. При этом решают как прямые, так и обратные задачи. Первые позволяют рассчитывать концентрацию, состав и соотношение элементов и изотопов, закономерности их эволюции и анализировать связи между параметрами модели и экспериментальными данными. В рамках второго подхода результаты экспериментов используются для получения осредненных решений. Хотя геохимические модели относятся к категории некорректных, допускающих несколько решений, тем не менее количественная проверка гипотез невозможна без моделирования.

Цель работы, выполнявшейся авторами статьи в течение двух последних десятилетий, — создание базовой изотопно-геохимической модели эволюции Земли (для названия модели выбрана аббревиатура РИТМ — радиогенные изотопы, транспортная модель)¹. Подобные модели широко используются в динамике атмосферы (CIRA-72) и геофизике (RREM).

В статье мы приводим некоторые экспериментальные данные, позволяющие сформулировать основные требования к РИТМ, затем представляем вариант модели, учитывающий эти требования, и обсуждаем некоторые параметры, полученные в результате расчетов.

ДАННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Важные сведения об эволюции системы «кора—мантия» были получены при изучении распределения изотопов самария и неодима в горных породах². Изотопный состав неодима в мантийных расплавах и сформировавшихся из них породах свидетельствует об обеднении верхней мантии (источника вещества океанических рифтовых базальтов) легкими редкоземельными элементами. Для пород континентальной коры, напротив, типично обогащение легкими редкоземельными элементами. Такое распределение согласуется с выводами петрологов о преимущественной миграции более легкого Nd (по сравнению с Sm) из твердого вещества в расплавы при частичном плавлении мантии.

На основании изучения самарий-неодимовой изотопной системы можно утверждать, что верхняя мантия и континентальная кора в течение всей геологической истории были комплементарными (взаимодополняющими) резервуарами. Следовательно, процесс формирования коры за счет фракционирования вещества мантии должен быть отражен в РИТМ.

На схеме, показывающей эволюцию изотопного состава неодима в верхней мантии, верхняя граница площади, на которую приходятся экспериментальные данные, в первом приближении отражает изменение величины $\epsilon(\text{Nd})$ в обедненной мантии, из которой литофильные элементы перешли в земную кору. Эта граница пересекает ось $\epsilon(\text{Nd})$ в хондритах в точке с временной координатой $T=4,5$ млрд. лет, т. е. в точке, отвечающей времени образования Земли и началу ее геохимической эволюции. Таким образом, начальное отношение $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, темп его возрастания в обедненной мантии и хондритах во времени (определяемый соотношением Sm/Nd), а также возраст Земли могут быть определены как взаимно согласованные параметры непосредственно на основе экспериментальных данных.

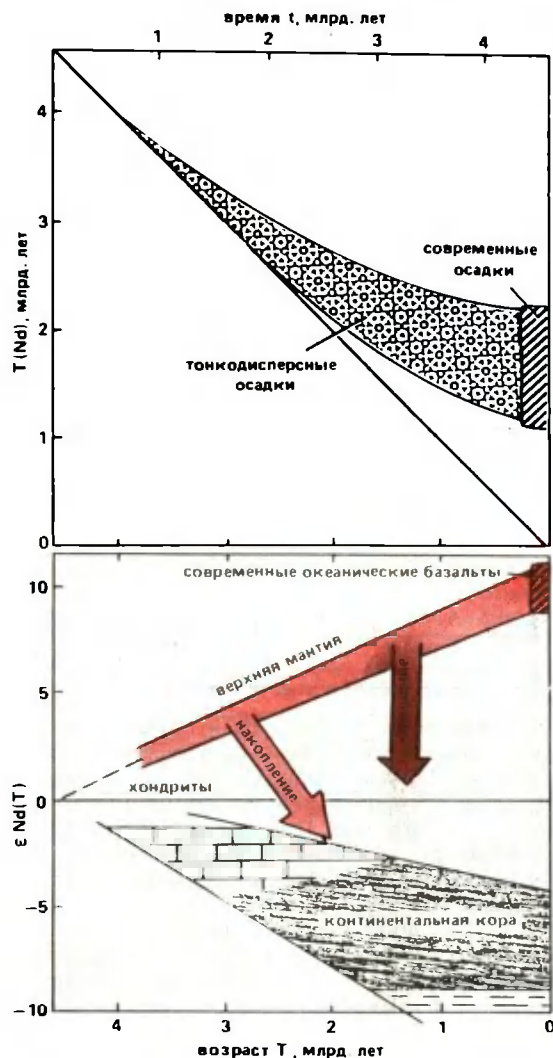
Изучение самарий-неодимовой изотопной системы показало, что геохимическое фракционирование верхней мантии и формирование континентальной коры началось значительно раньше, чем 4 млрд. лет назад. Сравнительно высокие положительные значения $\epsilon(\text{Nd})$ — не менее 2,5 для древнейших мантийных пород — могли быть обеспечены только в том случае, если существовало обеднение верхней мантии предшествовало этому времени. Естественно, одновременно должна была сформироваться и большая часть дополнительного резервуара — континентальной коры. Наряду с этими косвенными данными имеются и прямые указания на весьма раннее (около 4,2 млрд. лет назад) появление вещества, обогащенного легкими редкоземельными элементами.

Вместе с тем изотопно-геохронологические исследования пород земной коры выявили лишь небольшие блоки, по существу следы, древнейшего вещества. Но такое противоречие разрешимо: круговорот корового вещества обеспечивал разрушение древней коры и образование новой вследствие добавления мантийных расплавов. Изотопные данные свидетельствуют и о современном круговороте вещества коры. Понятно, что основные процессы, связанные с круговоротом коры, должны быть отражены в РИТМ.

Расчеты и непосредственные измере-

¹ Азбель И. Я., Толстихин И. Н. Радиогенные изотопы и эволюция мантии Земли, коры и атмосферы. Апатиты, 1988.

² См., например: DePaolo D. J. Neodimium isotope geochemistry. Berlin, 1988.



ния показали, что концентрация легких редкоземельных элементов в веществе континентальной коры примерно в 50 раз выше, чем в веществе обедненной мантии³. Столь сильное фракционирование невозможно, на наш взгляд, при одностадийном процессе. Не вызывает сомнений и присутствие субдцированного вещества океанической коры (т. е. уже претерпевшего фракционирование) в островодужных вулканических породах, характерных для зон формирования континентов. Таким образом, в РИТМ должен учитываться, как минимум, двухстадийный характер формирования коры.

³ Taylor S. R., McLennan S. M. The continental crust: its composition and evolution. Oxford, 1985.

Самарий-неодимовая изотопная система для разных резервуаров Земли.

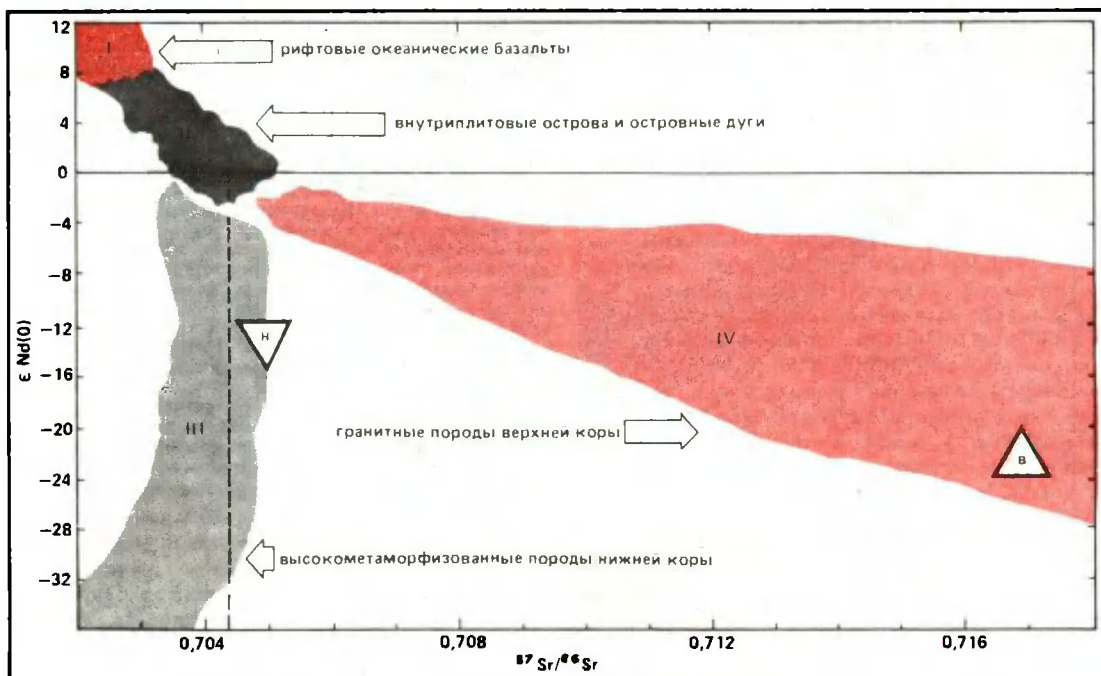
Внизу показана эволюция изотопного состава неодима в верхней мантии — источнике современных рифтовых базальтов, а также в континентальной коре и хондритовом резервуаре. $\epsilon_{Nd}(T) = \left[\left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd} \right)_{обр} / \left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd} \right)_{хондр} - 1 \right] \cdot 10^3$, где T — возраст образца (серии образцов), а $\left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd} \right)_{обр}$ и $\left(\frac{^{143}Nd}{^{144}Nd} \right)_{хондр}$ — начальные отношения изотопов неодима в образце и хондритовом резервуаре в момент времени T . «Накопление» отражает постепенное снижение ϵ_{Nd} в мантийных породах (пополняющих континентальную кору) вследствие аккумуляции радиогенного ^{143}Nd . «Смещение» соответствует загрязнению мантийных выплавов породами континентальной коры. Вся площадь между «типичной» континентальной корой и верхней мантией заполнена экспериментальными данными. Из схемы следует, что и кора, и обедненная мантия сформировались очень рано, используя вещество, близкое по соотношению редкоземельных элементов к хондритам. Вверху — зависимость модельного сармрий-неодимового возраста $T(Nd)$ тонкодисперсных осадков разных районов мира от их реального возраста t . Чем моложе осадки, тем значительнее вклад продуктов эрозии древних пород.

Важнейшая особенность сармрий-неодимовой изотопной системы осадочных пород континентов — превышение рассчитанного «времени жизни» (модельного Sm/Nd возраста) этих пород над их реальным возрастом. Убедительное, хотя и не единственное, объяснение этого феномена заключается в том, что на ранних стадиях эволюции коры доминировали эрозия кристаллических пород и вынос осадков, в то время как в дальнейшем преобладало перетолжение осадков⁴.

Интересную информацию о составе основных резервуаров Земли можно получить при совместном анализе стронциевых и неодимовых изотопных отношений. Так, в срединно-океанических рифтовых базальтах — производных обедненной верхней мантии — значения $\epsilon(Nd)$ наиболее высоки, а $^{87}Sr/^{86}Sr$ — низки. И хотя по мере уменьшения величины $\epsilon(Nd)$ данные отклоняются от так называемой мантийной последовательности, стронций-неодимовая корреляция позволяет оценить современное отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ (около 0,7045) и отношение Rb/Sr (около 0,03) в силикатной Земле.

Часть поля на стронций-неодимовой изотопной диаграмме, расположенная ниже линии $\epsilon(Nd)=0$, принадлежит породам континентальной коры, причем распределение данных в пределах этого поля указывает на существование по крайней мере двух

⁴ Veiser J., Jansen S. L. // J. Geol. 1985. V. 93. N 6. P. 625—643.



Соотношения концентраций изотопов стронция и неодима в различных горных породах в настоящий момент времени ($T=0$). Самарий-неодимовые изотопные характеристики позволяют выделить четыре основных силикатных резервуара: I — обедненную мантию; II — сформировавшуюся из мантийных расплавов океаническую кору; III — нижнюю континентальную кору; IV — верхнюю континентальную кору. Расчетные значения $\epsilon Nd(0)$ и $^{87}Sr/^{86}Sr$ для нижней (н) и верхней (в) коры даны в треугольниках.

резервуаров. Один из них, отличающийся низкими значениями как $\epsilon(Nd)$, так и $^{87}Sr/^{86}Sr$, по петрологическим и геохимическим признакам может быть отнесен к нижней коре. Другой — с еще более низкими значениями $\epsilon(Nd)$, но высокими $^{87}Sr/^{86}Sr$ — верхняя кора. Естественно, оба эти резервуара выделены в РИТМ.

Анализ других изотопных систем и их сопоставление позволили более надежно определить как требования к структуре РИТМ, так и значения входных параметров.

ТРАНСПОРТНЫЕ МОДЕЛИ

В качестве начального условия при геохимическом моделировании обычно предполагается гомогенный мантийный резервуар, в котором начальные концентрации родительского и дочернего элементов и их изотопный состав оцениваются на основании экспериментальных данных. Раз-

деление этого резервуара и перенос фракционированного материала приводят к образованию других резервуаров: обедненной мантии, океанической и континентальной коры, атмосферы. При эволюции вещества происходит его фракционирование, дегазация, смешение. Все эти процессы также отражены в модели.

Сценарий сводится примерно к следующему: фракционирование вещества верхней мантии и отделение расплавов приводит к формированию океанической коры, которое сопровождается переходом газов в атмосферу и гидросферу (последние рассматриваются нами как единый резервуар).

При спрединге коры ее вещество обогащается некоторыми элементами, например стронцием из морской воды. В зоне субдукции океанической коры также происходит фракционирование, в котором участвует вещество мантии, океанической и континентальной коры, а возникающие при этом расплавы питают континентальную кору.

В континентальной коре вещество в третий раз подвергается фракционированию и дегазации, в результате которых формируется нижняя и верхняя кора. Круговорот вещества коры обеспечивается ее деградацией (например, при эрозии), а также перемещением осадков и отдельных блоков коры в океан.

Исследования РИТМ и близких к ней

Концентрация радиоактивных элементов в основных резервуарах Земли

Радиоактивные элементы	Средние значения	Верхняя мантия	Океаническая кора	Континентальная кора		
				нижняя	верхняя	средние значения ⁷
K, вес. %	0,052	0,011	0,11	1,6	4,0	2,4
Rb, г/т	0,94	0,178	1,78	20,56	90,52	43,76
Sm, г/т	0,40	0,28	1,63	7,1	6,94	7,0
U, г/т	0,041	0,0086	0,086	1,26	3,1	1,9

моделей позволили уточнить предполагаемый сценарий эволюции Земли и оценить некоторые его параметры.

ВРЕМЕННАЯ ШКАЛА РАННЕГО ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ И ДЕГАЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА

Один из наиболее важных результатов, полученных при исследовании РИТМ, заключается в следующем: фракционирование вещества (протовещества) началось очень рано, еще до аккреции Земли, и продолжалось в ходе аккреции. Уран-свинцовая изотопная система, весьма чувствительная к ранним событиям (для которых характерна намного более высокая, чем сейчас, распространенность изотопа ^{235}U), свидетельствует о многократном возрастании величины отношения $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ за сравнительно небольшой интервал времени, не превышающий 100 млн. лет. «Уход» свинца обычно связывают с сегрегацией железа, формирующего ядро Земли (и ядра планетезималей). В любом случае можно считать, что фракционирование планеты на ядро и силикатную оболочку в основном завершилось вместе с аккрецией.

Обеднение земного вещества рубидием также должно было произойти очень рано — менее чем через 20 млн. лет после формирования Земли. Только этим объясняются низкие начальные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в древнейших породах.

Все современные модели⁵ свидетельствуют о ранней и весьма интенсивной дегазации Земли: в течение 10—100 млн. лет. Причем ведущая роль отводится дегазации силикатных расплавов — на это указывают особенности фракционирования благородных газов в мантии.

Образование континентальной коры и

дополнительного резервуара — обедненной мантии — началось еще в ходе аккреции или сразу после ее завершения. Около 4 млрд. лет назад сформировалась примерно половина современной массы континентальной коры — по данным одних исследователей, или даже вся кора — по мнению других. Последний вывод представляется нам более достоверным.

МАССОПОТОКИ И МАССЫ РЕЗЕРВУАРОВ

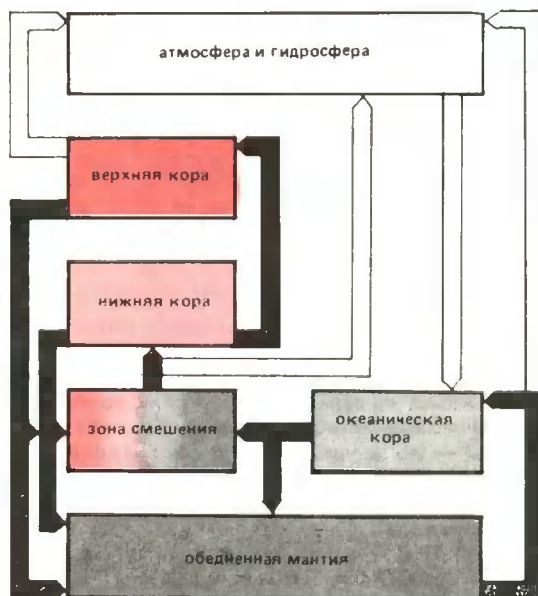
Чтобы обеспечить интенсивную раннюю дегазацию, поток массы расплавленного вещества в приповерхностный, подвергшийся дегазации, резервуар должен был быть весьма значительным. Согласно экспериментальным и расчетным данным, его величина достигала 10^{19} г/год в течение первых 10 млн. лет и около 10^{18} г/год в последующие 100 млн. лет. Интересно, что аналогичным образом варьировала и скорость роста массы Земли при аккреции. Это сходство можно рассматривать как еще одно указание на интенсивную дегазацию Земли в ходе аккреции, хотя для более определенных выводов нужно проанализировать оба процесса в рамках одной модели.

Анализ самарий-неодимовой изотопной системы позволил оценить соотношения масс силикатных резервуаров⁶. Если исходить из широко распространенного представления, что масса континентальной коры ($2,26 \cdot 10^{25}$ г) сформировалась за счет фракционирования мантийного резервуара, то этот обедненный резервуар должен был составлять примерно 1/3 силикатной Земли, т. е. он должен был охватывать верхнюю мантию до глубин около 700 км.

Не исключено, однако, что в мантии имеются блоки обогащенного вещества (например, остатки субдущированной океани-

⁵ Allegre C. J., Staudacher T., Sarda P. // Earth Planet. Sci. Lett. 1986. V. 81. P. 127—150; Zhang Y., Zindler A. // J. Geophys. Res. 1988. V. 94. N B10. P. 719—731; Jacobsen S. B., Wasserburg G. J. // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. N B13. P. 7411—7227.

⁶ При этом за начальную концентрацию редкоземельных элементов принималась их концентрация в хондритах.



Основные резервуары Земли, потоки масс силикатного вещества (черные стрелки) и потоки атомов, не сопровождающиеся существенным перераспределением масс (полые стрелки).

ческой коры), в которых хранятся «излишки» редкоземельных элементов. В этом случае предположение о делении мантии на два изолированных резервуара не требуется. Такой вариант модели еще предстоит исследовать.

4,5—4 млрд. лет назад массопотоки обогащенного вещества из мантии достигали 10^{17} г/год, что привело к быстрому росту массы коры. Обратные массопотоки — из коры в мантию — не превышали $(3-6) \times 10^{16}$ г/год. За фанерозой (последние 560 млн. лет) масса коры почти не изменилась: рассчитанные значения массопотоков в континентальную кору и обратно близки к современным значениям — около $0,5 \times 10^{16}$ г/год.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Количество калия, обеспечившего общее содержание радиогенного изотопа ^{40}Ar в выделившихся при дифференциации резервуарах, можно определить достаточно надежно, поскольку известно, что этот изотоп накапливается преимущественно в атмосфере. Рассчитанное количество калия равно $6,7 \cdot 10^{23}$ г, т. е. среднее содержание калия

в верхних оболочках Земли (верхняя мантия и кора) составляет 0,052 %. Величина отношения концентраций калия к урану в верхней мантии и коре равна $1,27 \cdot 10^4$ — это известная геохимическая константа. Следовательно, современная валовая концентрация урана в этих резервуарах равна 0,041 г/т.

Здесь важна следующая особенность: содержание урана в верхней мантии и коре существенно выше, чем в хондритах (0,011 г/т), в то время как в модели используются хондритовые концентрации редкоземельных элементов. Если же предположить, что фракционированию и дегазации (имеется в виду длительная, постепенная дегазация, при которой радиогенные газы переходили в состав атмосферы) подвергалась значительно большая часть мантии с меньшими концентрациями калия и урана, то сразу же возникает проблема с согласованием экспериментальных и расчетных данных для самарий-неодимовой системы. Проблему «несогласованности» концентраций калия, урана и редкоземельных элементов еще предстоит проанализировать.

Концентрация радиоактивных элементов в современной коре примерно в 100 раз выше, чем в мантии. Особенно обогащена радиоактивными элементами верхняя кора. Согласно нашим расчетам, только при двухстадийном фракционировании вещества, поступающего из мантии в кору, может быть достигнута столь высокая степень ее обогащения геохимически несовместимыми элементами.

ВОЗРАСТ РЕЗЕРВУАРОВ И ВРЕМЯ ПРЕБЫВАНИЯ В НИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассчитав значения массопотоков и концентрации элементов в различных резервуарах, удалось оценить важные характеристики последних — средний возраст и время пребывания в них несовместимых элементов.

В работах С. Якобсена и Дж. Вассербурга показано, что средний возраст мантийного и корового резервуаров составляет всего около 2 млрд. лет. Однако между сравнительно «молодым» средним возрастом континентальной коры и ранним ее формированием, отмечавшимися в предыдущих разделах, нет противоречия, поскольку вещество коры постоянно обновляется в ходе круговорота.

Если исходить из современного темпа круговорота коры и концентрации радиоактивных элементов, среднее время пребывания в ней наиболее несовместимых элементов — урана, рубидия и калия —

должно составлять около 4 млрд. лет. Таким образом, изотопный состав дочерних элементов формируется преимущественно за счет накопления в породах радиогенных изотопов.

Напротив, современные потоки масс и атомов из обедненной мантии в океаническую и континентальную кору обеспечивают время пребывания несовместимых элементов в мантии не более 1 млрд. лет. Сравнив это значение со средним возрастом мантийного резервуара, мы убеждаемся, что главный фактор, определяющий эволюцию изотопного состава дочерних элементов в обедненной мантии, — это обмен массами (и атомами) между разными резервуарами, а не накопление радиогенных изотопов *in situ*.

Любопытная инверсия выявляется при моделировании систем, в которых дочерним элементом является благородный газ, например калий-аргоновой системы. Поскольку измеренные коэффициенты распределения газов между расплавом и респитом (кристаллическим остатком) оказались намного больше, чем для родительских радиоактив-

ных элементов, получается, что средний калий-аргоновый «возраст» вещества мантии превышает 4,0 млрд. лет. Иными словами, калий-аргоновый «возраст» мантийного резервуара оказался выше среднего возраста. В этой связи следует подчеркнуть, что аномально высокие значения калий-аргонового возраста мантийных ксенолитов и алмазов необязательно объясняются захватом радиогенного аргона — они могут отражать особенности поведения родительских и дочерних элементов при фракционировании мантии.

В заключение — одно общее замечание. Нередко работы, основанные на моделировании сложнейших природных процессов, подвергаются нападкам со стороны геологов: дескать, никаких надежных новых данных из моделей извлечь нельзя, а, напротив, можно получить любой результат в зависимости от того, что в модель «заложено». Вряд ли стоит возражать таким критикам, пытающимся противиться естественному развитию наук о Земле — от «словесных портретов» к количественным оценкам, к описанию эволюции Земли в числах.

Битва без избиения: совещание по планетной космогонии 1951 года

А. Е. Левин

100-ЛЕТИЕ со дня рождения Отто Юльевича Шмидта и почти совпавшее с этой датой 40-летие академической дискуссии по планетной космогонии, где концепция Шмидта получила, пусть и с оговорками, нечто вроде идеологической индульгенции, дают неплохой повод для размышлений об апрельских событиях 1951 г. Я ни в коей мере не претендую на полноту их осмысления и интерпретации — хотя бы уже из-за ограниченности имеющихся у меня фактических данных. Задача моя куда скромнее. Я хотел бы, во-первых, показать, что дискуссия эта не укладывается в традиционную схему близких ей целевых научных (здесь нужны бы кавычки) совещаний того времени. И, во-вторых, попытаться связать эту ее особенность с личностью человека,

ради обсуждения идей которого она и была проведена. Необычность, если угодно уникальность, этого первого космогонического совещания — очевидная проблема для истории науки.

Утверждать, что последние годы сталинского режима были для советской науки и культуры в целом смутным и темным временем, значило бы распинать читателей на трюизмах. Некрасовское «бывали хуже времена, но не было подлей» здесь как раз подходит: физических репрессий по сравнению с 30-ми годами стало меньше, но по степени тупого и агрессивно-бездарного наступления аппарата и патронируемой им «новой советской интеллигенции» на сам дух свободного творчества этот период российской истории соперников не имеет. Различ-



Алексей Ефимович Левин, сотрудник Института физических наук и технологии (Мэрилендский университет, США). Профессиональные интересы лежат в сфере гносеологии, истории и теории науки, семиотики. Ранее работал в Институте философии АН СССР и неоднократно публиковался в «Природе».

ные «дискуссии» и «совещания» тех лет, как состоявшиеся, от летней сессии ВАСХНИЛ 1948 г. до объединенного заседания президиума АМН СССР и правления Всесоюзного общества невропатологов и психиатров, имевшего место 11—15 октября 1951 г., так и только подготовленные, но не проведенные¹, обнаруживают эту тенденцию с совершенной ясностью. Но первое совещание по космогонии на этом фоне выглядит как едва ли не единственный луч света в темном царстве, хотя и там, конечно, была отдана дань обязательной (как прославляющей, так и проклинающей) фразеологии.

В чем состояли главные различия? «Типичная» дискуссия конца 40-х — начала 50-х годов имела четко выраженную «негативную» направленность: уже в ходе ее подготовки делался упор на тему защиты советской науки от тех или иных буржуазных измышлений и злоумышлений, будь то пресловутый менделизм-морганизм, теория химического резонанса или «антипавловские» методы в физиологии. Эта тема всегда развивалась в ходе обсуждения, а победа официального курса закреплялась в итоговом документе и опять же всегда преподносилась не только как научный результат, но и как идеологический триумф. «Объекты» санкционированных атак были вынуждены в лучшем случае каяться (на Всесоюзном со-

вещании по теории химического строения в органической химии в июне 1951 г. этим удалось и ограничиться), в худшем же делались «оргвыводы» разной степени тяжести. Итоги совещаний могли быть не столь всеобъемлюще погромными, сколь результаты гангстерской атаки лысенковцев в 1948 г., но они неизменно оказывали деструктивное воздействие на советскую науку и подрывали ее международный престиж. Носители победоносных идей обычно занимали ключевые посты в соответствующей научной области, вынуждая противников, подвергнутых ostrакизму, либо к капитуляции, либо к миграции в другие дисциплины.

Эти типологические особенности или совсем не просматриваются при изучении материалов первого совещания по космогонии, или обнаруживаются в сильно смягченной форме. Возможно, именно поэтому оно еще и не привлекло к себе внимания иконоборчески настроенных советских историков науки — я сужу по материалам, вышедшим из печати до осени 1990 г. Впрочем, не будем предвирать выводов — обратимся к фактам.

Как хорошо известно и многократно подчеркивалось², стержнем исследовательской программы Шмидта стало разделение общей проблемы происхождения Солнечной системы на три компонента: 1 — моделирование фазы препланетогенеза (происхождение центральной звезды и окружающего ее облака); 2 — моделирование самого планетогенеза от начальной дифференции протопланетной среды до формирования тел системы; 3 — моделирование последующей эволюции планет, прежде всего Земли, со «сверхзадачей» идентификации геологических, геофизических и геохимических следствий теории ее возникновения и выстраивания на этой основе моста между планетной космогонией и науками о Земле.

Этот подход дополнялся акцентированием относительной независимости второй из названных целей в качестве центральной проблемы космогонии, допускающей изучение безотносительно к решению вопроса о происхождении пошедшего на формирование планет вещества. Стоит отметить, что сам Шмидт уже в первом, черновом изложении своего подхода, набросанном в Казани в конце 1943 г.³, исходил из того, что эта материя была захвачена Солнцем во

¹ См.: Сонин А. С. Совещание, которое не состоялось // Природа. 1990. № 3. С. 97—102; № 4. С. 91—98; № 5. С. 93—99.

² См., например: Витязев А. В., Почерников Г. В., Сафронов В. С. Планеты земной группы: происхождение и ранняя эволюция. М., 1990. С. 6.
³ Архив АН СССР (ААН СССР). Ф. 496. Оп. 1. № 50. С. 1—3.

время его прохождения через какую-то область Галактики, где для этого захвата существовали благоприятные условия. Но поначалу он был склонен принимать этот постулат отнюдь не догматически, допуская и иные мыслимые пути происхождения протопланетного облака. Правда, позднее позиция Шмидта сделалась более жесткой. Так, выступая на конференции в ГАИШе 28 февраля 1948 г., он настаивал на том, что в его теории «новой и главной является идея захвата, впервые положенная в основу космогонии Солнечной системы»⁴.

Можно предложить различные объяснения, почему именно Шмидт со временем пришел к столь явному акцентированию концепции гравитационного пленения галактического вещества, которую сейчас обычно называют его *гипотезой* — в отличие от теории эволюции протопланетного облака. Он сам неоднократно подчеркивал, что опора на захват позволяет легко обойти проблему распределения момента количества движения в Солнечной системе. Логика здесь не слишком убедительная — одна сложная проблема подменяется другой, не менее сложной. На ум приходят две дополнительные интерпретации.

С одной стороны, могло сказаться желание «застолбить» собственный оригинальный вклад в решение космогонической проблемы — ведь само по себе использование модели формирования планет из среды типа метеоритного роя на оригинальность претендовать не могло. Такая психологическая установка могла возникнуть в качестве своего рода защитной реакции на отнюдь не универсально благожелательное отношение профессионального сообщества к его идеям, в особенности на их восприятие рядом астрономов, увидевших в них плохо обоснованную попытку аутсайдера взяться за решение проблемы, проходящей по их ведомству.

С другой стороны, идея захвата позволяла, так сказать, подкрепить теорию мировоззренчески. Дело в том, что ко времени начала работ Шмидта над гипотезой планетогенеза космогония только стала возвращаться к моделям совместного образования Солнца и планет и убедительных результатов здесь попросту не существовало. Предположение о формировании облака из вещества Солнца, выделившегося под влиянием некоего «разового» воздействия (в духе подходов Т. К. Чемберлина и Ф. Р. Мультона, Дж. Х. Джинса или Г. Джеффриса), к 40-м годам потеряло убедительность, а для

Шмидта было вряд ли приемлемо и по мировоззренческим соображениям (тем же самым, кстати, которые вынуждали его резко отрицательно относиться к модели расширяющейся из точечной сингулярности Вселенной).

Подчеркивая цикличность прохождения звезд, включая и Солнце, через облака галактической материи и достаточно высокую вероятность гравитационного захвата, Шмидт мог выводить из этих посылок и распространенность во Вселенной процессов формирования планетных систем, общую регулярность планетогенеза. Это позволяло ему обходить весьма опасные в те времена обвинения в идеализме и «протаскивании» в космогонию чего-то подобного первому акту творения через акцентирование исключительной редкости возникновения планет — инвективы этого рода он и сам адресовал и Джинсу, и сторонникам теорий космологической сингулярности. Тем самым подход Шмидта становился привлекательной и для партийных идеологов, что в период расцвета агрессивного идеологического обскурантизма было крайне важным.

Не случайно в популярной лекции о происхождении Земли и планет, прочитанной 10 января 1945 г., Шмидт особо подчеркивал малую вероятность планетогенеза на основании того механизма, который он связывал одновременно с именами Чемберлина, Мультона и Джинса. Шмидт при этом заключил: «Это, конечно, не наше мировоззрение, нам было бы гораздо приятнее думать, что таких шаров (на которых существуют живые обитатели. — А. Л.) имеются миллиарды и что на них имеются свои существа — нас это не обидит»⁵. Эта цитата, кстати еще весьма ранняя, хорошо иллюстрирует отмеченную выше психологическую установку, по всей вероятности, вполне искреннюю. Аналогичные высказывания можно без труда найти и в позднейших текстах Шмидта. Кстати, в этих текстах он особо старался защититься и от идеологических обвинений другого рода, связанных с его якобы недооценкой роли внутренних факторов развития («саморазвития», как любили говорить тогдашние проповедники официального марксизма) и вытекающей отсюда готовности привлечь для объяснения «внешние» факторы, в данном случае те самые галактические облака. Уже в первом издании своих «Лекций» он счел необходимым специально указать, что апелляция к такому не противоречит «учению Ленина — Сталина о всеобщей связи явлений» и что

⁴ Там же. № 98. С. 1.

⁵ Там же. № 69. С. 9.



Во время визита во Францию.
1935 г.

В редакции «Известий». Слева
направо: В. Н. Фигнер, [?],
Н. И. Бухарин, О. Ю. Шмидт.

На заседании Президиума АН СССР.
1939 г. Слева направо:
А. Е. Ферсман, А. М. Деборин,
А. Н. Бах, О. Ю. Шмидт, Е. А. Чу-
даков, В. П. Никитин.

Среди астрономов в саду ГАИШа.
1946 г. Слева направо сидят:
Б. А. Воронцов-Вельяминов,
О. Ю. Шмидт, С. В. Орлов, Н. Н. Па-
рийский. Стоят: П. П. Паренго,
Г. Ф. Хильми, Б. Ю. Левин, С. В. Ко-
зловская.





его подход «диктуется самой сутью диалектики»⁶.

Таким образом, во второй половине 40-х годов у Шмидта, как можно предположить, сложился многослойный набор мотиваций, вынуждающих его настаивать на правомерности гипотезы гравитационного захвата околосолнечной материи. Даже в последние годы жизни, когда взгляды Шмидта несколько модифицировались, он не отказался от этой идеи, лишь видоизменил ее, считая более вероятным уже не чисто гравитационное пленение галактического вещества, но захват с участием неупругих столкновений⁷.

Судя по всему, концепция Шмидта в своих основных чертах оформилась где-то за четыре года после начала ее систематической разработки (согласно его заметкам, это начало датируется летом 1942 г.). 31 января 1947 г. он рассказал о своей теории на собравшем массовую аудиторию заседании II Всесоюзного географического съезда в Ленинграде⁸, а в марте представил ее участникам специально созванной конференции, где она обсуждалась астрономами из Пулковской, Астрономического института ЛГУ и Института теоретической астрономии АН СССР. В целом в Ленинграде подход Шмидта серьезных возражений не встретил: был достигнут консенсус относительно того, что общие контуры новой космогонической модели уже очерчены и что дальнейшие исследования в предложенном Шмидтом направлении обещают быть весьма перспективными.

Интересно, что, если судить по опубликованному отчету⁹, на этом совещании говорилось о предстоящей в Москве всесоюзной конференции по планетной космогонии как о деле уже решенном, что противоречит содержащейся в воспоминаниях Б. Ю. Левина информации о том, что подготовка к организации этой встречи началась лишь во второй половине 1950 г. Если действительно идея конференции хотя бы обсуждалась уже в 1947 г., то было бы интересно выяснить, почему она на деле была проведена с четырехлетним запозданием — хотелось бы надеяться, что со временем эту загадку удастся разрешить.

Впрочем, на следующем профессио-

нальном обсуждении работ Шмидта, состоявшемся 28 февраля 1948 г. в ГАИШе, о предстоящей дискуссии, кажется, уже ничего не говорилось — во всяком случае, в появившемся в печати отчете таковая не упоминается¹⁰. На этой встрече, созванной, вполне в духе времени, дирекцией и партийной организацией ГАИШа, участвовал главный космогонический оппонент Шмидта В. Г. Фесенков. О взглядах Шмидта он отзывался крайне критически, объявив его подход чисто механическим, не учитывающим радиационные и иные релевантные физические эффекты и основанным на ряде недоказанных допущений — в общем, неприемлемым. Негативной была и оценка Н. Д. Моисеева, который счел шмидтовскую гипотезу гравитационного захвата спекулятивной, а всю его космогоническую схему — не более чем развитием представлений Канта, не заслуживающим даже права на титул «новой космогонической теории». Стоит отметить, что и позднее астрономы ГАИШа в целом относились к работам Шмидта достаточно неодобрительно.

В печати тех лет, насколько мне известно, обошлось без приписывания взглядам Шмидта каких-то идеологических дефектов, хотя есть сведения¹¹, что на кулуарном уровне намеки подобного рода высказывались. Впрочем, нет признаков (во всяком случае явных) того, что в конце 40-х годов произошло заметное ослабление позиций Шмидта.

Оставляя в стороне гипотезы, следует констатировать, что всесоюзное совещание по концепции Шмидта было создано весной 1951 г., когда он уже успел выпустить два издания своей главной космогонической работы «Четыре лекции о теории происхождения Земли». После слияния в 1946 г. Института теоретической геофизики с Сейсмологическим институтом во вновь образованный Геофизический институт АН СССР Шмидт был назначен его директором и оставался им до декабря 1948 г., когда его просьба об освобождении от директорства была удовлетворена.

Туберкулез Шмидта, которому и суждено было стать причиной его смерти, сделал для него административную работу практически невозможной. Созданный Шмидтом в Институте теоретической геофизики отдел эволюции Земли продолжал функционировать в Геофизическом институте и постепенно разрастался. Выход двух изданий «Лекций» также не свидетельствовал о каком-то существенном падении влияния и админи-

⁶ Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. М. — Л., 1949. С. 13.

⁷ Об этом см., например: Левин Б. Ю. Создатель теории происхождения Земли // Отто Юльевич Шмидт. Жизнь и деятельность. М., 1959. С. 64—94.

⁸ Изв. Географического о-ва. 1947. № 3.

⁹ Эйгенсон М. С. Ленинградская конференция по космогонии. О. Ю. Шмидта // Природа. 1947. № 10. С. 90—93.

¹⁰ Астроном. журн. 1948. Т. 25. № 4. С. 280—284.

¹¹ Дуэль И. Каждой гранью. М., 1981. С. 154—155.

стративной кредитоспособности их автора.

Мне представляется особенно важным то обстоятельство, что апрельское совещание 1951 г. было проведено скорее по инициативе самого Шмидта, нежели с подачи его противников. Подготовка к совещанию велась — и велась, естественно, аппаратными способами — также с участием Шмидта, который, по свидетельству его сотрудника В. С. Сафронова, действовал через тогдашнего главного ученого секретаря АН СССР А. В. Топчиева (своего рода наместника властей) и сотрудника Отдела науки ЦК ВКП(б) Грязнова.

Прежде чем переходить к обсуждению материалов совещания, подчеркну следующее важное обстоятельство. Если сравнить общий стиль и тон выступлений его участников со стенограммами других встреч, о которых шла речь в начале статьи, то впечатление будет вполне благоприятным. Боюсь, что эта моя оценка расходится с посмертно опубликованными воспоминаниями И. С. Шкловского, который, признавая талант и личную порядочность Шмидта, упрекал его в «лысенковских» методах пропаганды своих взглядов и навязывания их астрономическому сообществу¹². Еще дальше пошел Андрей Битов, поразивший читающую публику заявлением, что Сталин, подобно Гитлеру, имел свою космогонию, главными жрецами которой были Шмидт и Фесенков¹³.

Мне представляется, что подобные оценки все же, мягко говоря, не слишком обоснованы — в значительной степени это преувеличения, абберации памяти, отражения каких-то конфликтов интересов или личных неурядиц и т. п. Хотя сам Шмидт в своем докладе на совещании, в ряде публикаций, особенно в идеологических изданиях типа «Вопросов философии», и прибегал к совершенно стандартным, по сути дела ритуальным инвективам против якобы неустранимых заблуждений и пороков буржуазной науки в целом и космогонии в частности, ни он, ни его сотрудники практически никогда не пользовались подобными приемами в полемике со своими оппонентами в Советском Союзе (о паре незначительных исключений я в свое время упоминаю).

Поведение Шмидта в этом плане выгодно отличается от действий лидеров научных клик и кланов в СССР того времени, не говоря уже о столь одиозной фигуре, как Т. Д. Лысенко. Стоит отметить, что

«контрдоклад» Фесенкова на совещании, зачитанный в его отсутствие П. Г. Куликовским, был более агрессивным по отношению ко взглядам Шмидта, нежели доклад Шмидта — ко взглядам Фесенкова. В частности, Фесенков без всякого на то основания упрекнул Шмидта в полной несовместимости его концепции со всем, «что известно об эволюции небесных тел и физических свойствах солнечной системы»¹⁴, а также, что вообще вызывает удивление, поставил под сомнение применимость дедуктивных рассуждений «в естествознании и особенно в космогонии».

Если доклад Шмидта пестрит идеологическими наскоками на западную космогонию, то, во-первых, степень их интенсивности нельзя не признать сравнительно умеренной, во-вторых, Шмидт признает за западной космогонией и ряд «положительных» качеств, что для того времени было не столь уж тривиальным поступком. (Кстати, совершенно аналогичные заключения можно с легкостью найти и во вступительном слове И. Г. Петровского, и в выступлении Фесенкова, который в качестве «примера правильной разработки естественнонаучной теории» называет «теорию» Мичурина.) Наконец, важно подчеркнуть, что Шмидт в своем докладе особо настаивал на том, что все различия между советскими космогонистами — «это различия внутри одного лагеря — материалистического»¹⁵. Вряд ли стоит напоминать, что в таких случаях принято было пользоваться аргументами иного рода и стиля.

Я не берусь с уверенностью судить, было ли идеологическое обрамление доклада Шмидта действительным выражением его собственных взглядов и в какой мере тут присутствовали и следование правилам научно-политических игр тех лет, и стремление продемонстрировать собственную идеологическую ортодоксальность и компетентность, и желание заранее нейтрализовать идеологические атаки со стороны менее скрупулезных коллег, и намерение обеспечить для себя и своих последователей достаточно безопасную экологическую нишу. Вероятно, здесь играли роль все эти факторы, смешанные в какой-то непростой пропорции.

Шмидт вряд ли страдал цинизмом, его юношеское очарование идеями большевистской революции скорее всего не было неискренним. С другой стороны, не следует забывать, что уже с 30-х годов взгляды

¹² Энергия. 1988. № 6. С. 52—53.

¹³ Новый мир. 1989. № 4. С. 140.

¹⁴ Труды Первого совещания по вопросам космогонии 16—18 апреля 1951 г. М., 1951. С. 41.

¹⁵ Там же. С. 17.

предтеч революции и основных ее лидеров преподносились в СССР исключительно в их сталинской, или, так сказать, просталинской, интерпретации — сильно огрубляющей, сверлоптитизированной, догматичной и с течением времени все более ксенофобичной. При этом зазоры между «руководящими указаниями» самого Сталина и его ближайшего окружения касательно общих вопросов идеологии и конкретными истолкованиями и приложениями этих указаний еще подлежали заполнению.

Среди тех, кому была доверена эта миссия, уже с 20-х годов находился и Шмидт. В качестве члена президиума и заведующего секцией естествознания Коммунистической академии он всегда солидаризировался с официальной «линией» этого института, провозглашающей неизбежность «деградации» и «идейной беспомощности» буржуазной науки. В контексте нашего теперешнего знания его нетрудно упрекнуть во многом. Например, очевидно одиозной была его роль в составлении устава высшей школы 1921 г., отменившего университетскую автономию, или, скажем, в академической комиссии по «делу» Н. Н. Лузина летом 1936 г. Но все же историческая объективность требует признать, что в рассматриваемый период Шмидт вел себя по-другому.

Не будучи ни еретиком, ни святым, хорошо зная все тонкости аппаратных игр и идеологических ритуалов и в науке, и в государственном управлении, разделяя многие предрассудки своей среды и ее политической «культуры», Шмидт все же не обнаружил склонности к решению космогонических споров политическими методами. Для того времени это было немало.

На пяти заседаниях совещания в общей сложности выступили, кроме самого Шмидта и Петровского, 40 человек (Н. А. Козырев — дважды). Изучение протоколов показывает, что идеологические темы так или иначе присутствовали не только у Шмидта и Петровского, но и еще в 11 выступлениях астрономов и астрофизиков. Интересно, что в выступлениях представителей наук о Земле такие темы не прослеживаются. Иногда использование идеологически окрашенной фразеологии было достаточно поверхностным и явно «служебным», но подчас оно выходило далеко за рамки, очерченные докладом Шмидта.

Например, ленинградский астроном М. С. Эйгенсон упрекал «буржуазный Запад» в «космогоническом маразме», а сотрудник Шмидта Г. Ф. Хильми защищал его теорию с помощью ссылок на Энгельса. Были, впрочем, и примеры иного рода; так,

тогдашний директор Пулковской обсерватории А. А. Михайлов дал вполне корректный и даже доброжелательный обзор зарубежных космогонических исследований, включая даже и работы многократно обруганного в СССР Джинса.

Имеет смысл посмотреть, как распределились оценки концепции Шмидта у различных групп выступавших на совещании. Хотя его материалы не содержат указаний на их специальность, изучение различных советских источников позволило мне идентифицировать почти всех. В прениях участвовали: 28 астрономов, астрофизиков и специалистов по небесной механике; 10 представителей наук о Земле; один физик-теоретик (К. П. Станюкович), а также А. В. Трофимов, сведений о специальности которого мне найти не удалось. Исключая последних двух, мы получаем группы «астрономов» и «геологов». В первой 11 человек достаточно определенно поддержали Шмидта; среди них, что неудивительно, его сотрудники Б. Ю. Левин и Г. Ф. Хильми, а также ленинградские астрофизики Л. Э. Гуревич и А. И. Лебединский, опубликовавшие важное исследование динамической эволюции околосолнечного пылевого облака. Напротив, пять астрономов, включая самого Фесенкова и его ученицу А. Г. Масевич, высказались против концепции Шмидта в целом. Еще семь человек из этой группы, не отклоняя подхода Шмидта полностью, заявили о несогласии с его гипотезой гравитационного пленения галактической материи. Наконец, пять оставшихся членов этой группы в своих выступлениях затрагивали темы, не имеющие прямого отношения к идеям Шмидта.

Таким образом, из 28 «астрономов» о концепции Шмидта говорили 23 человека, почти половина (11) ее одобрили, а из оставшихся лишь пять выразили уверенность в ее неперспективности. То, что гипотеза захвата вызвала наибольшее число критических реакций, вполне естественно, но бросается в глаза, что некоторые участники дискуссии старались только о ней и говорить, выставляя аргументы против нее в качестве опровержений всего подхода Шмидта. Были, конечно, и вполне деловые возражения. Например, В. А. Амбарцумян, признав корректным данное Шмидтом и его сотрудниками доказательство возможности гравитационного захвата в задаче трех тел, все же подчеркнул, что эти расчеты не снимают ряда других серьезных возражений против идеи захвата: неизвестно, как и где последний имел место и что именно было захвачено. В то же время он при-

знал плодотворность самой планетезимальной модели, в частности, важность данного Шмидтом объяснения вращения планет. В общем выступление Амбарцумяна выглядит весьма сбалансированным, что, вероятно, удивило многих: он достаточно ревниво относился к космогоническим претензиям Шмидта, и были основания опасаться, как вспоминает Е. Л. Рускол, что на совещании захочет добиться осуждения всего шмидтовского подхода.

Выступления «геологов» демонстрируют иной спектр мнений. Гипотезу захвата в этой группе не опровергал никто: вероятно, для ученых неастрономических специальностей она была делом второстепенной важности. Четыре человека из 10 поддерживали теорию Шмидта, один высказал отрицательное отношение, пять выступлений оказались либо нейтральными, либо вовсе не касались главного предмета обсуждения. В общем при чтении этих текстов не удается отделаться от мысли, что космогонические идеи Шмидта находились на периферии интересов геологического сообщества — как, вероятно, и вся космогония.

Решения совещания — это, несомненно, любопытный документ. После обычных фраз об ущербности буржуазной науки и успехах советской космогонии идет в целом вполне объективная и выдержанная в спокойном духе оценка результатов Шмидта. Их критика ограничивается чисто научными моментами (например, отсутствие объяснения происхождения комет, астероидов и метеоритов и трудности в объяснении состава больших планет), но не содержит никаких «идеологических» выводов. Совещание рекомендовало вполне разумную программу последующих междисциплинарных космогонических исследований и высказалось за издание сборников по проблемам космогонии, что и было осуществлено. В целом решения совещания оказались деловыми и, если не считать обязательного фразеологического обрамления, идеологически нейтральными — выгодное отличие от подобных документов того времени. С одной стороны, это означало нейтрализацию идеологических выпадов против Шмидта, с другой же — подтвердило некий баланс сил между «шмидтовцами», «фесенковцами» и, так сказать, «прочими». Итогом не стало рождение новой монополии в науке, будь то про или антишмидтовской. Совещание не инициировало и какую-либо кампанию покаяния или чистки «непокорных».

Однако очень точным индикатором повышения акций Шмидта было появление зимой 1952 г. в советской прессе адресо-

ванных массовому читателю изложений концепции Шмидта, написанных его очевидными единомышленниками¹⁶. Любопытно, что кое-где ее уже именовали *учением* — высшая по тем временам форма признания. Сам Шмидт печатал популярные статьи и выступал с лекциями о своих достижениях. Сейчас это выглядело бы как интенсивная самопропаганда, но для тех времен такое поведение было естественным. Симптомом укрепления позиций Шмидта можно считать и то, что тогда же, в 1952 г., он возглавил переведенный из Ленинграда в Москву единственный в Академии популярный журнал «Природа».

Если из песни выкидывать слова непозволительно — а это действительно так, — то надо признать, что иногда Шмидт обнаруживал склонность к более жесткой и, если угодно, идеологически активной обороне. В относящейся к лету 1950 г. рукописи неопубликованной статьи для «Правды» он полемизирует с Фесенковым и Амбарцумяном на несколько менее дипломатическом языке¹⁷, а в декабре следующего года, выступая на Всесоюзном совещании руководителей философских секций Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний, даже упрекает их в некоторых уступках агностицизму и эклектике, впрочем, в очень мягкой форме, специально подчеркнув, что «в основном эти ученые — борцы за материалистическую науку»¹⁸. Впрочем, в контексте обычных для тех лет идеологических «спектаклей» все это выглядит в высшей степени неустрашающе.

Стоит отметить, что созданную при Отделении физико-математических наук АН СССР Комиссию по космогонии (постановление Президиума АН СССР от 12 сентября 1952 г.) возглавил не Шмидт, а именно Амбарцумян. В общем ни по личностным качествам, ни по этическим установкам Шмидт не годился на роль «Лысенко от космогонии» и вряд ли стремился таковым стать. Даже может, это обстоятельство и оказалось важнейшей (хотя вряд ли единственной) причиной столь необычного протекания первого совещания по космогонии.

¹⁶ См., например: Лебединский А. Новое в учении о происхождении планет // Известия. 1952. 17 февраля; Левин Б. Новое в науке о происхождении небесных тел // Комсомольская правда. 1952. 1 марта.

¹⁷ ААН. Ф. 496. Оп. 1. № 125. Л. 4.

¹⁸ Там же. № 136. С. 20.

Хочу выполнить приятный долг и поблагодарить А. В. Витязева, Е. Л. Рускол, В. С. Сафронова и С. В. Козловскую за беседы и иную помощь в сборе материалов для этой статьи.

Космические исследования

Гамма-обсерватория

7 апреля 1991 г. экипаж «Атлантика» вывел на орбиту высотой около 450 км и наклоном $28,5^\circ$ гамма-обсерваторию GRO (Gamma-Ray Observatory), доставленную в космос в грузовом отсеке шаттла.

Обсерватория предназначена для изучения γ -излучения с энергиями 50 кэВ — 30 МэВ. Ее масса 15 876 кг, размах панелей солнечных батарей (мощностью 3,9 кВт) 21,3 м. Система электропитания включает также шесть никель-кадмиевых аккумуляторов. Обсерватория оснащена четырьмя корректирующими двигателями, создающими тягу по 45 кг каждый, и восьмью двигателями системы ориентации тягой по 2 кг. Время активного функционирования (2—2,5 года) можно продлить до восьми лет, если в последующих полетах шаттлов обсерватория будет дозаправлена топливом.

С помощью приборов GRO предполагается обнаружить черные дыры и нейтронные звезды, получить новые данные о квазарах и пульсарах. Пока с орбиты зарегистрировано около 25 источников γ -излучения. Поскольку чувствительность научной аппаратуры обсерватории в 10—20 раз выше, предполагается значительно увеличить это число за счет объектов, находящихся как внутри Галактики, так и за ее пределами.

Обсерватория снабжена: ориентированным сцинтилляционным спектрометром для регистрации длинноволнового γ -излучения. Он способен регистрировать объекты от быстро вращающихся пульсаров до источников γ -всплесков (спектрометр обладает высокой чувствительностью к радиоактивному излучению и определяет направление на точечный источник с точностью до долей градуса, что позволит исследо-

вать сверхновые и новые звезды, где, по некоторым гипотезам, продолжается образование тяжелых элементов);

детектором γ -всплесков и излучений нестационарных источников, который содержит восемь датчиков (по четыре на противоположных сторонах обсерватории, что обеспечивает почти полное и равномерное покрытие небесной сферы) и, как полагают, будет регистрировать от 100 до 400 всплесков ежегодно;

комптоновским телескопом для исследований γ -квантов средних энергий;

телескопом для регистрации γ -квантов больших энергий, состоящим из 36 искровых камер, покрытых тонкими танталовыми пластинами, блока совмещения из 32 элементов и большого датчика на основе кристалла NaI массой 408 кг.

Научная аппаратура создана специалистами США, ФРГ, Нидерландов и Европейского космического агентства.

Космические исследования

40-й полет по программе «Спейс шаттл»

28 апреля в 11 час. 33 мин. по Гринвичу с космодрома на м. Канаверал (штат Флорида) осуществлен очередной запуск шаттла; орбитальной ступенью служил корабль «Дискавери» с экипажем из семи астронавтов: М. Коутс (командир), Б. Хэммонд (пилот), Г. Харбо, Д. Макмонейгл, Г. Блуфорд, Р. Хиб, Ч. Вич (специалисты по операции на орбите).

Полет полностью проходил по программе Министерства обороны США, однако секретность на этот раз была ослаблена из-за экономии средств (иначе потребовалось бы еще 70—100 млн. долл.). Тем не ме-

нее основная часть результатов будет засекречена.

Экипаж должен был провести комплекс сложных экспериментов военного характера с помощью доставленного на орбиту оборудования и аппаратуры, стоимость которых свыше 260 млн. долл. Работа велась круглосуточно двумя сменами по три астронавта в каждой. Основная цель экспериментов — создание космических вооружений по программе СОИ, в частности получение информации для разработки нового космического аппарата, обеспечивающего обнаружение и сопровождение баллистических ракет в полете.

Во время полета отказали два магнитофона для записи информации с пяти приборов; частично информацию удалось спасти, сразу передавая ее на Землю.

Общая масса оборудования составляла 4,5 т и включала пять комплексов. Важнейшим считался комплекс приборов «программы 675», включающий ИК-телескоп «Циррис» для получения детальной спектрометрической информации о лимбе Земли и факелах баллистических ракет в верхних слоях атмосферы. В комплекс входит также аппаратура для регистрации излучения «цели» в УФ- и рентгеновском диапазоне.

Похожий комплекс расположен на спутнике — платформе Спас-2, выведенном 1 мая на орбиту с помощью 15-метрового манипулятора из грузового отсека «Дискавери»; 2 мая, когда начались эксперименты по регистрации факелов ракетных двигателей, Спас-2 находился примерно в 15 км впереди шаттла и на 1,5 км ниже, что позволило наблюдать под разными углами общую конфигурацию факелов (роль «неприятельской баллистической ракеты» выполнял сам корабль). В другом эксперименте со спутником Спас-2 платформа удерживалась на конце манипулятора и фиксировала факелы при включениях

двигателей ориентации и маневрирования шаттла.

Экипаж вывел также на орбиту (на расстояние до 150 км от шаттла) три резервуара массой около 85 кг с различными химическими соединениями и ракетным топливом. По команде с Земли они распылялись в пространстве, а высокочувствительные датчики спутника фиксировали искусственные облака, проверяя возможность маскировки боеголовки баллистической ракеты в газообразном облаке.

На орбиту были выведены еще два спутника: малогабаритный «Лайтсат» (70 кг) испытывался в качестве эффективного средства связи, разведки, навигации и метеообеспечения для младших командиров; второй спутник (1926 кг) нес контейнеры для отработки в космосе узлов будущих военных спутников.

Кроме того, астронавты исследовали космическое рентгеновское излучение по заказу министерства энергетики США для создания системы детекторов, отличающих естественный рентгеновский фон от излучения ядерных объектов; это сделает эффективнее контроль за выполнением договоров по сокращению стратегических ядерных вооружений.

Из-за сильного ветра «Дискавери» совершил посадку 6 мая на м. Канаверал, а не на авиабазе Эдвардс (штат Калифорния), как предусматривалось.

Космические исследования

Завершена очередная экспедиция на «Мире»

В апреле—мае космонавты В. М. Афанасьев и М. Х. Манаров завершали работу на орбитальном комплексе «Мир».

25—26 апреля экипаж совершил четвертый выход в открытый космос длительностью 3 ч 34 мин, во время которого космонавты оценили состояние антенны радиотехнической системы стыковки, установленной на астрофизическом модуле «Квант-2».

Продолжались экспери-

менты по измерению спектров космического излучения в различных диапазонах, оценке состояния образцов конструкционных материалов на внешней поверхности комплекса. Велись также фотоспектрометрические съемки территории СССР, в частности кольцевых структур севернее оз. Балхаш, а также посевов в районах с засоленными почвами.

С 20 мая Афанасьев и Манаров работали вместе со сменным экипажем в составе А. П. Арцебарского и С. К. Крикалева, прибывших на орбитальный комплекс на корабле «Союз ТМ-12» вместе с гражданкой Великобритании Х. Шарман.

Восьмая длительная экспедиция на комплексе «Мир» завершилась 26 мая: в 13 час. 05 мин. московского времени Афанасьев и Манаров вместе с Х. Шарман в спускаемом аппарате «Союза ТМ-11» совершили посадку в 68 км юго-восточнее г. Джезказгана.

Продолжительность полета составила 175 сут 1 ч 52 мин.

Космические исследования

Полет советско-британского экипажа

18 мая в 15 час. 50 мин. московского времени с космодрома Байконур стартовала ракета, выведшая на орбиту космический корабль «Союз ТМ-12» с экипажем: командир корабля А. П. Арцебарский, бортинженер летчик-космонавт СССР С. К. Крикалев и космонавт-исследователь из Великобритании Х. Шарман.

После формирования монтажной орбиты 20 мая в 17 час. 31 мин. «Союз ТМ-12» состыковался с орбитальным комплексом «Мир» через стыковочный узел на базовом блоке (на расстоянии 150 м от станции экипаж перешел на ручное управление, так как по одному из каналов радиотехнической системы «Курс» шла искаженная информация об угловых скоростях).

Научная программа Х. Шарман включала медицинские, биологические, биотехнологические, технологические и

геофизические исследования и эксперименты на аппаратуре, предоставленной советской стороной.

В эксперименте «Прогноз» оценивалась и прогнозировалась динамика психической работоспособности и сенсомоторной координации космонавта в период острой адаптации на начальном этапе полета. В другом медицинском эксперименте кардиорегистратором американской фирмы «Спейслэб» записывались ЭКГ, а в эксперименте «Рефлектор» изучались биохимические анализы крови и обмена веществ с помощью комплекта аппаратуры австрийской фирмы «Беренген майнхайм». Оценивалось также содержание микропримесей в газовой среде жилых отсеков станции.

По программе биологических экспериментов в камере «Светоблок-М» на примере пшеницы изучался рост и развитие высших растений в условиях невесомости с использованием субстрата «Вион», насыщенного всеми минеральными элементами. Там же проверялась возможность образования клубней картофеля из культуры тканей (считается, что картофель перспективен в системах жизнеобеспечения длительных космических полетов). Исследовались также особенности роста культуры женьшеня в экстремальных условиях, влияние орбитального полета на рост хлореллы, воздействие неоднородного магнитного поля на проростки льна и влияние антимутиagenов на ранней стадии развития растений (использовались семена лука-батун и салата). Оценивалось и повышение психологического комфорта экипажа при размещении на станции декоративных растений — орхидей и карликового лимонного дерева.

В биотехнологическом эксперименте «Вита» исследовались жизнедеятельность и динамика роста клеток, а также особенности производства белка при мембранном культивировании генно-инженерных микроорганизмов, вырабатывающих биологически активный белок люциферазу.

Технологический эксперимент «Электротопограф-7М» был посвящен изучению кинети-

ки деградации диэлектрических материалов в открытом космическом пространстве и диагностике их состояния методом электротопографического контроля.

В геофизическом эксперименте «Спектр-2М» Шарман определяла цветовые характеристики природных объектов и возможности операторов по их колориметрированию.

Кроме того, она участвовала в сеансах любительской радиосвязи «Голоса в космосе»: когда орбитальный комплекс проходил над Великобританией, между ним и британскими радиолюбителями на борту станции устанавливалась связь.

Программа Шарман, включавшая 14 научных исследований и экспериментов, была полностью выполнена. Длительность ее космического полета составила 7 сут 21 ч 15 мин.

С. А. Никитин
Москва

Астрофизика

Существует ли «всемирный магнит»?

Является ли магнитное поле Вселенной вечным и всеобщим или же оно возникло недавно и состоит из отдельных областей? Этот вопрос служит предметом многолетней дискуссии. Недавно радиоастроном Ж. П. Валле (J. P. Vallée; Астрофизический институт им. П. Херцберга, Оттава, провинция Онтарио, Канада), завершив самый полный на сегодня анализ магнитных полей вокруг 300 удаленных галактик и квазаров, примерно в пять раз, по сравнению с имевшимися оценками, понизил величину общего магнитного поля, если оно действительно существует. По мнению Валле, в пределах точности измерений Вселенная в целом магнетизмом не обладает.

Это утверждение противоречит недавним открытиям крупномасштабных магнитных полей в космосе. Так, группа Кронберга (Р. Р. Kronberg; Торонтский университет, Канада) показала, что два галактических скопления могут соединяться мощным магнитным «мостом».

Однако Валле, опираясь на измерения вращения плоскости поляризации радиоволн, излучаемых далекими галактиками и квазарами, считает «мост» явлением локальным. Вращение плоскости поляризации волны под влиянием «попутных» магнитных полей позволяет оценить их величину и направленность.

А существовало ли общее магнитное поле в начале расширения Вселенной и, если да, как повлияло оно на ее современную структуру, ведь оно должно было взаимодействовать с гравитацией при образовании всех объектов? Валле полагает сомнительным, чтобы слабое общее магнитное поле могло повлиять на космические структуры.

Астрофизик Э. Леб (A. Loeb; Институт высших исследований, Принстон, штат Нью-Джерси, США) указывает, что уменьшение величины гипотетического общего магнитного поля наносит удар по и без того подвергаемой ныне сомнению гипотезе сверхпроводящих космических «струн» — для своего подтверждения она требует более мощного поля. Первоначально гипотеза была поколеблена в 1989 г., когда приборы спутника «Кобе» (Cosmic Background Explorer — спутник для изучения фонового космического излучения) показали почти полную изотропию этого излучения.

Результат Валле должен повлиять и на теории формирования галактических и межгалактических магнитных полей. Уменьшается вероятность их «конденсации» из «вселенского» поля. Все больше сторонников у гипотезы их образования из первичных «зародышевых» полей, усилившихся до нынешнего уровня из-за вращения галактик.

Однако, по мнению некоторых специалистов, земной наблюдатель может определять лишь усредненные значения магнитного поля. Так, если межгалактическое поле через несколько миллионов световых лет меняет направление, изменения поляризации радиоволн могут компенсироваться. Наконец, выводы Валле зависят и от плотности материи во Вселенной, а она точно не определена.

Science News. 1990. V. 138. № 11. P. 166 (США).

Астрофизика

Млечный путь массивней, чем полагали

В 1990 г. в 280 тыс. св. лет от центра Млечного Пути была открыта необычная галактика, получившая наименование карлик Секстанта.

Г. Да Коста и Д. Хатцидимитриу (G. Da Costa, D. Hatzidimitriou; Англо-Австралийская обсерватория, Австралия), а также М. Ирвин и Р. Макмахон (M. Irwin, R. McMahon; Астрономический институт, Кембридж, Великобритания) завершили первый цикл детальных наблюдений этого интересного объекта. С помощью 3,9-метрового телескопа они получили спектры 14 звезд из окрестностей Секстанта. Шесть из них, как оказалось, движутся от Солнца с одинаковой скоростью — около 230 км/с. Это означает, что все они являются частью этой галактики. У большинства остальных скорости много меньше, т. е. это более близкие к нам звезды Млечного Пути.

Поскольку Солнце обращается вокруг центра Млечного Пути, удаляясь от Секстанта со скоростью 220 км/с, получается, что эта галактика «уходит» от Млечного Пути со скоростью 78 км/с. Это много по сравнению с другими галактиками-спутниками.

Видимо, Млечный Путь обладает гигантской массой (примерно $10^{12} M_{\odot}$). В противном случае объекты, движущиеся с подобными скоростями, быстро ушли бы из зоны его притяжения. Очевидно, астрономы недооценивали массу Млечного Пути.

New Scientist. 1991. V. 129. № 1757. P. 28 (Великобритания).

Планетология

Влияние Солнца на ионосферу Венеры

По данным американского космического аппарата «Пионер-Венера», полученным на орбите вокруг Венеры, коли-

Астрономия

Возрождение радиотелескопа

15 ноября 1988 г. внезапно рухнула 91-метровая параболическая антенна одного из крупнейших телескопов, принадлежащего Национальной радиоастрономической обсерватории Грин-Бенк (штат Вирджиния, США). Он был построен в 1962 г. и обошелся в 900 тыс. долл.

В 1970 г. антенну увеличили, электронные устройства неоднократно совершенствовались; видимо, в результате накопилась усталость материала опорной плиты, и антенна рухнула.

Сейчас на этом месте сооружается новый радиотелескоп с крупнейшей в мире 100-метровой антенной, обладающей способностью мгновенной регулировки.

Параболическая антенна фокусирует радиоволны на приемнике, подвешенном над ее поверхностью. У обычных телескопов он опирается на несколько переключателей, касающихся чаши антенны, которые рассеивают радиосигнал и создают помехи. Новая антенна размером 110×100 м будет иметь форму, позволяющую направлять сигнал в сторону, где он будет собираться приемником, поддерживаемым единственным кронштейном, не касающимся чаши. Радиосигнал в результате уменьшится в 100—1000 раз.

Регулируемая поверхность антенны позволит компенсировать искажения, вызываемые ее собственным весом, и вести наблюдения на коротких волнах, вплоть до 3 мм (существующие приборы из-за подобных искажений принимают сигналы с длиной волны не короче 2 см).

Антенна снабжена 2 тыс. датчиков, устанавливаемых в точках соприкосновения такого же числа алюминиевых панелей, образующих ее поверхность. Перемещением взад и вперед на расстояния до 1 см, конструкции надеются компенсировать искажения, вызванные весом датчиков. В дальнейшем в системе будет достигнута и компенсация тепловых искривлений формы антенны.

Ввод в строй прибора намечен на 1995 г. Его стоимость, включая электронику, составит 75 млн. долл.

New Scientist. 1991. V. 129. № 1754. P. 40 (Великобритания).

Физика атмосферы

Озонная дыра растет!

Исследователи Вашингтонского университета (США), предпринимая, что к 2001 г. площадь озонной дыры над Антарктикой удвоится. Прогноз основан на данных о скорости ветра, температуре и химическом составе стратосферы, полученных самолетом-лабораторией в самой дыре и ее окрестностях. Выдвинута идея существования «сосуда сдерживания», в котором озоновый слой истощается. «Сосуд» сформирован вихрем, перемещающимся с запада на восток на высотах от 16 до 48 км; центр его вращения расположен над Южным полюсом. При температуре -78°C в полярной стратосфере образуются облака из ледяных кристаллов. В этих условиях хлор, входящий в состав хлоруглеродов, начинает разрушать озон.

По мнению исследователей, озонная дыра занимает пока 50 % площади вихря и расширяется на север на $4-5^\circ$ за год.

Environmental Science and Technology. 1991. V. 25. № 3. P. 358—359 (США).

Физика

Альвен был прав

В 1954 г. видный шведский астрофизик Х. Альвен (H. Alfvén) предположил, что атомы газов, перемещаясь в космическом пространстве, могут ионизоваться при достижении определенной скорости. Для этого атом должен пересечь силовую линию магнитного поля со скоростью (названной критической скоростью ионизации), при которой атомы «сдираются» одни или несколько электронов и возникает положительный ион.

чество свободных электронов в ионосфере планеты сильно колеблется. Первоначальный вывод о том, что эта величина зависит от интенсивности солнечного излучения в крайней ультрафиолетовой части спектра, которое может вызывать ионизацию нейтральных атомов в верхней атмосфере со стороны, освещенной Солнцем, не подтвердился; согласно новым данным, даже в периоды сильных вариаций солнечного ультрафиолетового излучения количество электронов в атмосфере Венеры меняется незначительно.

Как показал Л. Брейс (L. H. Brace; Центр космических полетов им. Р. Годдарда НАСА, Гринбелл, штат Мэриленд, США), гораздо большую роль в этих колебаниях играет скорость и плотность солнечного ветра. Временами он лишь переносит электроны с освещенной стороны Венеры на ночную, но когда содержит большое количество заряженных частиц, способен полностью «сдувать» электроны с поверхности ионосферы в космос.

Высота распространения ионосферы Венеры может зависеть от активности Солнца. В минимуме ее 11-летнего цикла количество электронов в далекой части «ионного хвоста» Венеры, на расстояниях 1400—2500 км от планеты, сильно колеблется. В максимуме же Солнце излучает меньше в крайней ультрафиолетовой части спектра, а ионосфера Венеры располагается ниже над поверхностью планеты, так что космический аппарат мог регистрировать электроны лишь на высотах 150—600 км. На этот раз данные свидетельствовали, что интенсивность излучения в крайней ультрафиолетовой части спектра колеблется сильно, а число электронов — незначительно.

Правда, данные за время пика недостаточны для серьезных выводов, но измерения за период умеренной интенсивности (по обе стороны минимума) надежно свидетельствуют, что плотность электронов в ионосфере Венеры действительно следует за циклическими вариациями солнечной активности. Science News. 1990. V. 137. № 21. P. 335 (США).

Ионизованные атомы начинают светиться, что регистрируется не только наземными и самолетными приборами, но и (в случае больших газовых скоплений) невооруженным глазом.

Для исследования критической скорости ионизации ставились немногочисленные эксперименты: с зондирующей ракеты выбрасывали порошкообразные металлы, а специальное взрывное устройство «поставляло» энергию для испарения порошка и «разгона» образовавшегося газа до критической скорости. Однако чистоте эксперимента мешало то, что взрывной нагрев индуцировал ионизацию, масштабы которой пока не ясны.

Пытались также избавиться от ионизации солнечным излучением, запуская ракеты так, чтобы газовое облако распространялось в ночных районах. Но эти эксперименты были малоубедительны, и гипотеза Альвена требовала более точной проверки.

В июле 1990 г. под руководством Ю. Узкотта и Х. Стенбека-Нильсена (E. M. Wescott, H. Stenback-Nielsen; Университет штата Аляска, Фэрбенкс, США) впервые был проведен спутниковый эксперимент по изучению критической скорости ионизации. Четыре емкости с порошками бария, кальция и стронция (при ионизации светящимися в видимой части спектра) находились на борту спутника (Combined Release and Radiation Effects Satellite — спутник для изучения комбинированных эффектов распространения и излучения). 10 сентября был распылен стронций и барий, а 14 сентября — кальций и барий. Вначале емкости отстреливались с помощью пружин, а через 20 мин порошок испарялся взрывом.

Выброс осуществлялся в момент, когда скорость спутника составляла 9,5 км/с, что намного выше критической для данных металлов; кроме того, выбирался такой участок орбиты, чтобы газ попал в неосвещенное Солнцем пространство. Поэтому любое свечение не могло быть связано с солнечным излучением.

Предсказанное шведским ученым явление действительно наблюдалось.

Участник эксперимента Д. Ризонер (D. Reasoner; Центр космических полетов им. Д. Маршалла НАСА, Хантсвилл, штат Алабама, США) считает, впрочем, необходимым проверить и другие возможные объяснения наблюдавшегося свечения (например, из-за столкновения атомов распыленных газов с атомами кислорода в верхних слоях атмосферы).

Science News. 1990. V. 183. № 17. P. 267 (США).

Иммунология

Пептиды — против СПИДа

Две группы американских исследователей, независимо друг от друга, определили структуру белка CD4 — рецептора вируса иммунодефицита человека (HIV) на поверхности Т-лимфоцитов.

В. Хендриксон и Р. Аксел (W. Hendrickson, R. Axel; Колумбийский университет) с помощью рентгеновской кристаллографии изучали пептид — часть молекулы CD4, непосредственно взаимодействующую с HIV. Одновременно такие же исследования выполнили С. Харрисон с сотрудниками (St. Harison; Гарвардский университет).

CD4 — это гликопротеин, состоящий из четырех относительно обособленных частей. Структура двух из них теперь известна. Вместе обе части образуют «стержень» длиной, равной половине длины всей молекулы. В первой его части находится структура 2(CDR2) — так называемая определенная комплементарная область, представляющая собой выступающую над поверхностью петлю и, по-видимому, очень важная для соединения с вирусом. Исследователи считают, что эта петля по размерам соответствует «щели» на вирусном белке gp 120 вируса HIV.

При анализе аминокислот, участвующих в соединении с HIV, выяснилось, что основную роль играет остаток фенилаланина, выступающий на поверхности молекулы.

Полученные данные помогут создать небольшие пептиды, которые, возможно, поз-

волят блокировать взаимодействие CD4 с gp120 и тем самым прекратить инфицирование других клеток. Такие пептиды с точной молекулярной структурой могут оказаться более эффективными, чем используемые в настоящее время лекарства.

Nature. 1990. V. 348. N 6300. P. 411, 419 (Великобритания).

Биохимия

Взвешенный запах

И. Окахате с коллегами (Y. Okahata; Токийский институт технологии, Япония) удалось взвесить запах. Они использовали липидный бислой — компонент клеточных мембран — для адсорбции пахучего вещества и

взвесили его на особо чувствительных весах с кристаллом кварца, способных регистрировать нанограммы. Учитывалось, что молекулы пахучих веществ обычно лучше растворяются в органических растворителях (жирах, маслах), чем в воде.

По мнению японских исследователей, молекулы «ароматных» веществ, встретив на своем пути мембраны специализированных обонятельных клеток, генерируют электрические импульсы, поступающие в клетки мозга, что и позволяет воспринимать определенный запах. Возможно, при этом определенную роль играют липидные бислои, которые формируют опору для мембран этих клеток и способны растворять гидрофобные вещества.

В проведенных экспериментах показано, что искусственно созданные бислои и мембраны обонятельных клеток впитывают одинаковое количество ароматных веществ (в том числе и косметических). Поэтому авторы считают, что механизм восприятия запаха, о котором пока мало что известно, «угадан» ими правильно.

Метод может найти широкое применение в косметической и пищевой промышленности.

Bulletin of the Chemical Society of Japan. 1990. V. 63. N 11. P. 3082—3085 (Япония).

Биохимия

«Искусственный» гемоглобин

П. Сениор (P. Senior) с коллегами из компании «Дельта биотехнологии» получили искусственным путем гемоглобин человека. Они ввели в геном штамма пивных дрожжей ген, кодирующий этот важнейший компонент крови, доставляющий кислород в клетки. В результате клетки штамма начали в числе прочих белков производить и гемоглобин, который затем был выделен и очищен.

Предложенный метод позволяет получать гемоглобин в количествах, достаточных для использования при лечении различных травм, переломов и других заболеваний, связанных с потерей крови.

Получение гемоглобина из дрожжей — достаточно дешевая (в 10 раз дешевле, чем его получение из эритроцитов) и безопасная процедура. Он идентичен обычному гемоглобину, но обладает тем преимуществом, что в нем нет вирусов, загрязняющих белок, получаемый из эритроцитов. Он также не содержит остатки эритроцитов, вызывающих иногда аллергические реакции. Препарат дрожжевого гемоглобина лучше, чем эритроциты, проникает в глубь различных тканей, что особенно важно, к примеру, при операциях на сердце.

New Scientist. 1990. V. 129. N 1756.
P. 26 (Великобритания).

Медицина

Обострения артрита можно избежать

Исследователи под руководством Р. Джеффериса (R. Jefferis; Британский университет) создали антитело, способное остановить воспалительный процесс суставов при артрите.

Ревматоидный артрит, в отличие от других видов артрита, носит затяжной характер и не поддается традиционному лечению. В суставах, поражен-

ных ревматоидным артритом, находится множество активных белых кровяных телец, хотя явной инфекции там нет. Существует догадка, что так называемые антитела ревматоидного фактора воздействуют на другие антитела и тем самым способствуют выводу ферментов из белых кровяных телец, что вызывает воспалительный процесс и деформацию тканей суставов.

Созданное искусственное антитело обнаруживает антитела ревматоидного фактора и соединяется с ними, что ограждает другие антитела от их пагубного воздействия и обрывает цепочку, ведущую к воспалению и деформации сустава.

Предстоит исследовать, действительно ли этот реагент прекращает выход ферментов, после чего можно переходить к клиническим испытаниям.

London Press Service. Feature. 1991.
№ 253. P. 2—3 (Великобритания).

Медицина

Рак груди: новая надежда в борьбе с метастазами

Смерть от рака груди, как и от других видов раковых опухолей, — чаще всего результат возникновения метастазов. Исследователи из Страсбургского университета им. Л. Пастера (Франция) обнаружили ген, «управляющий» распространением клеток первичной опухоли рака груди.

Авторы изучали стромальные клетки (клетки соединительной ткани, образующие сеть вокруг размножающихся раковых клеток). Они получили такие клетки от 30 женщин с раковыми опухолями грудных желез и сравнили их со стромальными клетками доброкачественных опухолей груди.

Во всех изучаемых клетках у больных со злокачественными опухолями был активен один ген. В контрольных образцах его активность не отмечалась. Активность гена была тем выше, чем ближе к клеткам опухоли находились окружающие их стромальные.

Авторы установили, что ген продуцирует фермент, на-

званный ими стромолизин-3. Это новый член семейства ферментов — металлопротеиназ, участвующих в распространении некоторых злокачественных опухолей.

По мнению авторов, клетки злокачественной опухоли сами секретируют гормоноподобное вещество (фактор роста), активирующее упомянутый ген. Ныне известны соединения, блокирующие металлопротеиназы, так что есть надежда на «укрощение» и стромолизина-3. Возможно также, что антитела к этому ферменту помогут предотвратить распространение клеток первичного рака груди.

Nature. 1990. V. 348. N 6303.
P. 699—702 (Великобритания).

Физиология

Дельфины слышат лучше в мутной воде

Уникальные слуховые возможности дельфинов — интересный объект для исследования механизмов слуха. Особый интерес представляют пресноводные дельфины (сем. Platanistidae), у которых снижена острота зрения из-за обитания в мутной воде и большое значение приобретает слуховая ориентация, включая эхолокацию.

В. В. Попов, А. Я. Супин (Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР) измерили основные акустические характеристики амазонских дельфинов, регистрируя электрические ответы мозга на акустические раздражения (так называемые вызванные потенциалы). Особенностью эксперимента было то, что эти потенциалы фиксировали на поверхности тела, не вживляя электроды в мозг. Игольчатые электроды вводили на глубину 3—5 мм: на поверхности головы и у спинного плавника. Установка электродов была безболезненной. Акустические сигналы (щелчки, шум) изучались с расстоянием 1 м от головы животного. Их параметры (интенсивность, длительность, спектр) контролировали специальными приборами.

Исследования показали, что форма ответа в основном сходна с формой потенциалов у других дельфинов, но имеются и характерные отличия. Начальное колебание у них выражено намного четче, что свидетельствует о более активной слуховой периферии. Изменение потенциала достигало 25 мкВ, в то время как у бутылконосого дельфина и белухи в аналогичных условиях регистрации — не превышает 10—15 мкВ, а у человека — 1 мкВ. На аудиограмме амазонского дельфина явно прослеживаются два минимума (у других видов только один), т. е. две зоны оптимальных частот (25—30 и 70—89 Гц). Предельные воспринимаемые частоты (при порогах 50—60 дБ) составляют 125—150 кГц.

Важная характеристика слуховой системы — быстродействие, т. е. скорость восстановления ответов при парных или ритмических раздражениях. По этому параметру дельфины — рекордсмены животного мира (у амазонских дельфинов при ритмической стимуляции частота ответов может превышать 1000 Гц).

Связь этих особенностей с экологией животных может стать предметом специальных исследований; советские ученые намерены продолжать работу совместно с Национальным университетом Сан-Маркос (Перу). Доклады АН СССР. 1990. Т. 313. № 1. С. 238—241.

Биология

Много ли пауку нужно еды!

Казалось бы, ответ очевиден: чем больше пищи, тем лучше. Но, оказывается, все не так просто.

И. Джекоб и Х. Дингл (Е. М. Jakob, H. Dingle; Калифорнийский университет, США) исследовали жизненный цикл паука-фольциды *Holospetus pluchei*. Пауков выращивали в лаборатории при разных режимах питания. Когда пауку есть много, время его развития от яйца до взрослого состояния сокращается. При ослаблен-

ном питании паук развивается дольше. Более того, происходят дополнительные линьки, образующие сверхнормативные личиночные стадии. С одной стороны, размер взрослых пауков, особенно самцов, прямо зависит от уровня питания личинок. С другой — самки, претерпевшие дополнительные линьки, значительно крупнее обычных. Пауки рода *Holospetus* часто живут группами, и более крупные особи отбирают добычу у тех, кто поменьше.

Так что в действительности конкурентоспособность самок, выращенных при низком уровне питания и поэтому перелинявших дополнительно, выше, чем у самок, которых хорошо кормили. Структура популяции фольцид достаточно сложна и предусматривает разные возможности обеспечения пищей. Много еды — хорошо, мало еды — тоже неплохо.

Psyche. 1990. V. 97. N 1—2. P. 95—110 (США)

Биология

Планктон в полярных морях

Многолетние исследования привели к устойчивому представлению о сезонных циклах планктона в Арктике и Антарктике. Зимой первичная продуктивность здесь очень низка, и этот неблагоприятный период растительноядные рачки-копеподы (*Calanoida*), составляющие основную массу зоопланктона, переживают в состоянии диапаузы на больших глубинах. Вслед за весенней вспышкой диатомовых водорослей копеподы поднимаются к поверхности, после чего их биомасса заметно растет и, как следствие, снижается биомасса фитопланктона. Однако в разных местах и в разные годы наблюдаются значительные отклонения от этой схемы. Исследования немецких ученых в Норвежском море показывают, что одной из причин этой изменчивости могут служить разные способы зимовки, используемые одним и тем же видом копепод.

Наиболее массовый вид зоопланктона приполярной Атлантики *Calanus finmarchicus* зи-

мует в Норвежском море преимущественно на глубинах 500—1000 м. Пойманные на этих глубинах рачки находились в состоянии покоя и в эксперименте не реагировали на пищу. Однако небольшая часть популяции держалась в верхнем 200-метровом слое и питалась скудным зимним фитопланктоном. На повышение его концентрации в экспериментальных условиях они реагировали резким увеличением интенсивности питания. Именно копеподы, находящиеся зимой в активном состоянии и готовые «наброситься» на фитопланктон, едва начнется весеннее «цветение», могут серьезно повлиять на его характер. Так сочетание неблагоприятной для водорослей стратификации вод и выедание их активной частью калянуса способно в иные годы почти сразу погасить весеннюю вспышку фитопланктона.

Marine Ecology Progress Series. 1990. V. 60. P. 225—233 (ФРГ).

Зоология

Как летают пауки

Давно замечено, что в конце лета и начале осени мелкие пауки начинают летать по воздуху на своих паутинках. В степных районах СССР эти паутинки часто сплетаются в настоящие «ковры-самолеты». Пауков обнаруживали в атмосфере на высоте до 4,3 км; были отмечены и весьма большие (до 322 км) дистанции перелетов. Но до сих пор оставалась неизвестной физическая сторона явления.

Впервые точные эксперименты с летающими пауками (относящимися к 31 виду из шести семейств) провел американский исследователь Р. Б. Сатер¹. Он взвешивал пауков (их вес составлял от 0,07 до 81,88 мг) и измерял толщину паутинных нитей (0,066—0,984 мм), а затем помещал пауков с паутинками в аэродинамическую трубу. Впервые точно установлено, что и паутина, и само тело паука обеспечивают необходимую подъемную силу. Паук контролирует

¹ Suter R. B. // Ethology, Ecology and Evolution. 1991. V. 3. P. 13—25.

полет длинной паутиной нити и позой тела; он способен менять направление полета при горизонтальных и вертикальных воздушных течениях. Особенно в воздушных потоках около поверхности Земли приводят к тому, что пауки, поднявшиеся днем, ночью обычно опускаются на почву. Расселяться на значительных пространствах в результате полетов способны только самые маленькие пауки.

Неясно, однако, могут ли пауки целенаправленно реагировать на зрительные и осязательные стимулы, указывающие на препятствие в виде воздушной ловушки. Известно также, что при массе тела от 0,1 до 0,3 мг беспозвоночные животные (бескрылые насекомые, клещи, возможно, даже наземные моллюски) способны «летать» и без помощи паутины — все здесь зависит от скорости ветра. Интересно, подтвердится ли это для паукообразных.

К. Г. Михайлов
Москва

Этология

«Тепловой портрет» лягушки

Окраска для многих животных служит хорошей защитой от хищников. Важную роль в этом играет способность кожи по-разному отражать свет.

Американские ученые С. Эмерсон, Т. Купер, Д. Эльрингер (S. Emerson, T. Cooper, J. Ehrlinger; Университет штата Юта, Солт-Лейк-Сити) обнаружили и исследовали различия в отражении света древесными лягушками. В одну группу входили лягушки, кожа которых отражает инфракрасное излучение (*Litoria infrafronata*, *Agalychnis callidryas*, *Phyllomedusa sauvagii*, *Pachymedusa sauvagii*, *Pachymedusa dachicolor*, *Rhacophorus malabaricus*), в другую — не обладающие таким свойством (*Osteopilus septentrionalis*, *Hyla cinerea*, *Polypedates leucomystax*). Исследовались спектры отражения в диапазоне от 450 до 1000 нм, которые, у двух групп существенно отличались. Лягушки, отражающие инфракрасные лучи, имели

спектры отражения, аналогичные спектрам листьев, на которых они сидят. Причем эта способность не связана с принадлежностью к определенному виду или семейству и не может быть объяснена терморегуляцией.

Благодаря описанному феномену лягушки «ослабляют» цветовой и температурный контраст с фоном. Эта способность развилась конвергентно в разных систематических группах бесхвостых земноводных, т. е. не приобретена от общих предков.

Functional Ecology. 1990. V. 4. P. 47—51 (США).

Сельское хозяйство

Биотехнологическая эйфория

По прогнозам, население Земли к 2030 г. достигнет 10 млрд. чел. Как прокормить эту гигантскую популяцию и, не разрушив природные ресурсы, обеспечить устойчивое земледелие?

Х. Шнейдерман и У. Карпентер (H. Schneiderman, W. Carpenter), возглавляющие научно-производственный центр «Монсанто компани» (США), считают, что нужно шире использовать биотехнологию, способную создать такие сорта растений и породы животных, которые смогут преобразовать вложенную в сельское хозяйство энергию в урожай и продукцию животноводства с наивысшей эффективностью и без разрушения среды, обеспечить симбиотическую азотфиксацию растениями многих семейств и усилить эту способность у бобовых.

Генная инженерия — основа биотехнологии — позволяет вывести сорта растений, устойчивые к вредителям и болезням, а следовательно, уменьшить применение губительных гербицидов, инсектицидов и фунгицидов. (Правда, не следует отказываться от экологически безопасных гербицидов типа глифосата.) Можно получать также сорта с повышенным количеством белка или содержащие в своем составе целительные начала — от пептидов до инсулина.

Биотехнология, по мнению авторов, даст прекрасные результаты в сочетании с гидропоникой, которая пока слишком энергоемка, но в расчете на дешевую энергию АЭС к 2030—2050 гг. станет рентабельной.

Животноводство, считают авторы, нельзя представить без ростовых гормонов, одновременно повышающих продуктивность и снижающих расход кормов. Кроме того, препараты группы соматотропина уменьшают количество выделяемого животными метана, а он в создании парникового эффекта в 20 раз опаснее углекислого газа. Генная инженерия позволит повысить устойчивость животных к заболеваниям.

Авторы критикуют концепцию альтернативного сельского хозяйства с полным отказом от пестицидов и удобрений: возврат к традиционному земледелию, по их мнению, резко сократит выход сельскохозяйственной продукции, увеличит расходы на пропитание в развитых странах и вызовет голод в развивающихся странах с высокой плотностью населения.

Биотехнологическая революция, по мнению авторов, это важнейший элемент «планетарного патриотизма», стратегия коллективного выживания человечества.

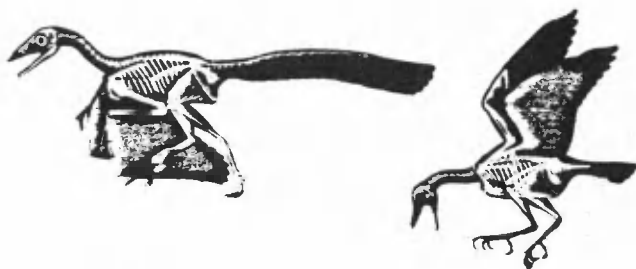
Environmental Science and Technology. 1990. V. 24. N 4. P. 466—470; 472—473 (США).

Палеонтология

Древнейшая птица

Недавно на северо-востоке Китая в озерных осадках, отложившихся 135 млн. лет назад, в начале мелового периода, обнаружены остатки неизвестного существа. По определению П. Серено (P. Sereno; Чикагский университет, США) и Ч. Ганляо (Cheng Gang Rao; Пекинский музей естественной истории, Китай), изучавших находку, это птица нового для науки рода (пока не получившая названия).

Размером с воробья, она обладала выраженной способностью к полету, чем и отличалась от археоптерикса (по размеру сходного с вороной), ко-



Реставрированный скелет древней китайской птицы (с п р а в а) и археоптерикса.

торый, очевидно, в воздух не поднимался, а лишь при беге размахивал крыльями. Китайская находка «всего» на 10—15 млн. лет моложе археоптерикса и сочетает черты как современных нам птиц, так и примитивных пресмыкающихся предков. Кости плеча у нее специализированы для полета. Имеется пигостиль — укороченный набор хвостовых позвонков, сросшихся воедино. Благодаря короткому хвосту центр массы тела смещен к плечу, что способствовало взлету. У археоптерикса и тех динозавров, от которых он, по-видимому, произошел, хвосты длиннее, так что центр тяжести приходился на задние конечности — это удобнее для бега.

У китайской находки заметны черты приспособленности к древесному образу жизни: когти длиннее и более загнуты, чем у археоптерикса; начальный сегмент передней конечности, или крыла, укорочен, а второй — удлиннен, как и у современных птиц. С другой стороны, новая древнейшая птица имеет такие особенности строения, которых лишены нынешние пернатые (например, дополнительные ребра, несросшиеся кости крыльев, примитивная лобковая кость).

Ранее в Испании уже находили остатки примитивных птиц, также, видимо, обладавших способностью к полету, но они были «моложе» китайской (строение ребер у них менее примитивно).

По мнению известного палеонтолога Л. Д. Мартина (L. D. Martin; Университет штата Канзас, США), расстояние, разделяющее китайскую и испанские находки, указывает на то,

что способность летать возникла и распространилась по континентам задолго до появления как тех, так и других.

Science News. 1990. V. 138. N 16. P. 247 (США).



Охрана природы

Последствия урагана Хьюго

Разрушительный ураган Хьюго, пронесшийся в 1989 г. над юго-восточным побережьем США, не только нанес огромный материальный ущерб, но и оказал значительное влияние на некоторые виды животных, в особенности на те, что находятся под угрозой уничтожения.

Так, в Национальном лесу Франсис-Марион, расположенном к северу от г. Чарлстона (штат Южная Каролина), ураган нанес сокрушительный удар по одной из трех устойчивых популяций кокардовых дятлов (*Picoides borealis*): множество деревьев с их гнездами были повалены, а половина уничтожена; по оценкам, от 25 до 75 % самих дятлов, возможно, погибли. В начале 1990 г. Национальный союз по охране живой природы США провел конференцию экспертов по биологии и мерам сохранения кокардового дятла, который ныне встречается только в древних сосновых лесах страны. Было подтверждено мнение, что существующую систему охраны мест обитания дятлов, часто живущих отдельными колониями, необходимо заменить другой, учитывающей особенно-

Он похож на большого пестрого дятла, но за глазом с каждой стороны у него на черном фоне выделяются маленькие красные «искорки» — «кокарды».

сти экосистемы в целом. Кроме того, эксперты сочли необходимым улучшить финансирование федеральной программы по спасению этого вида.

На побережье того же штата ураганом уничтожено также около 50 % деревьев с гнездами белоголовых орланов (*Haliaeetus leucoscephalus*); повреждены места обитания веретенницы Бахмана (*Vermivora bachmani*). В Карибском национальном лесу на о. Пуэрто-Рико сильный ущерб нанесен пуэртоканским попугаем (*Amazona vittata*). По предварительным оценкам, половина из них погибла и сегодня там насчитывается от 23 до 47 диких попугаев.

«Хьюго показал, как один ураган может подвергнуть риску целые популяции животных, находящихся под угрозой исчезновения», — заявил Р. Розен (R. Rosen; Юго-Восточный центр природных ресурсов в Атланте).

National Wildlife. December 1990—January 1991. P. 29 (США).

Геология

Самородное золото океана

Международная группа морских геологов и геофизиков, включавшая П. Херцига (P. Herzig; Аахенский технологический университет, Германия), У. фон Штакельберга (U. von Stackelberg; Федеральный институт наук о Земле и природных ресурсах, Ганновер, Германия) и И. Фуке (Y. Fouque; Институт использования ресурсов моря, Брест, Франция), изучала строение и химический состав донных пород на юго-западе Тихого океана.

Особенно интересными оказались образцы грунта, поднятые с глубины 1100 м с помощью обитаемого научно-исследовательского аппарата «Наутил» («Nautilus») в районе подводного хребта Валу-Фа (к западу от архипелага Тонга), находящегося в зоне спрединга. При анализе этих образцов впервые обнаружены среди сульфидов видимые зерна золота размером до 5 мкм. Известно, что в древних центрах спрединга

сквозь расщелины на поверхность дна океана выносятся с гидротермальными излияниями минералы, которые при взаимодействии с холодной морской водой осаждаются, образуя скопления металлов.

М. Ханнингтон (M. Hannington; Геологическая служба Канады, Оттава) считает, что теоретические модели, исходящие из способности золота к растворению, позволяли предсказывать возможность существования и самородного золота среди подобных сульфидных отложений, однако до сих пор геологи находили его лишь в виде следов, в концентрациях не более 7 част./млн¹.

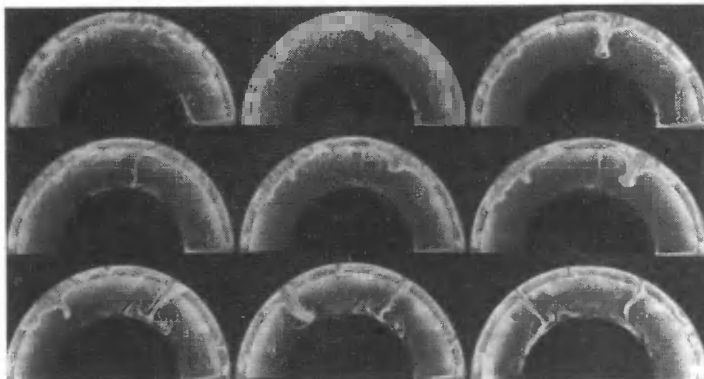
В пределах срединно-океанических хребтов, где вулканические породы имеют иной состав, золото в металлическом состоянии также еще не обнаруживали. Самородное золото вообще встречается только среди сульфидных пород, где его концентрация достигает 12 или даже 20 част./млн. Понимание процессов рудообразования на дне океана может значительно облегчить поиск месторождений золота.

New Scientist. 1990. V. 128. N 1743. P. 26 (Великобритания);

Геофизика

Моделирование конвекции в мантии Земли

До сих пор неизвестно, осуществляется ли конвекция в мантии Земли в ячейках, проникающих на всю ее глубину, или же она происходит независимо в верхней и нижней мантии. Имеющиеся натурные данные не противоречат обоим возможностям. Признано, однако, что между верхней и нижней мантией существует определяемая сейсмологическими измерениями граница, связанная с эндотермическим фазовым переходом минералов, слагающих мантию (шпинель превращается в перовскит и окись магния).



Эволюция поля температур при конвекции в мантии. Время растёт слева направо и сверху вниз. Холодные (более светлый тон) нисходящие течения, не способные самостоятельно пересечь фазовую границу, проникают в нижнюю мантию в результате концентрации их восходящими возвратными потоками.

Ф. Мачетель и П. Вебер (Ph. Machetel, P. Weber; Тулуза, Франция) выполнили расчеты конвекции с помощью реалистичной численной модели с учетом указанного фазового перехода. По их результатам процессы конвекции осуществляются следующим образом. В результате охлаждения на поверхности в верхней мантии образуются элементы неустойчивости, проникающие в виде холодных нисходящих струй до фазовой границы на глубине 670 км. Здесь большинство струй останавливается, искривляется и расширяется. Некоторые потоки, однако, могут локально проникать в нижнюю мантию. Этому способствует то, что широкие восходящие компенсационные потоки помогают отдельным нисходящим струям объединяться в один более мощный поток, способный преодолеть границу раздела и проникнуть в нижнюю мантию. Таким образом, происходит перемежающееся перемешивание верхней и нижней мантии. Все близлежащие холодные аномалии стягиваются и погружаются до тех пор, пока не достигнут ядра. Процесс прекращается, когда большая часть холодного вещества «рассасывается». Затем образуются новые изолирован-

ные ячейки на границе раздела. Такое поведение дает возможность согласовать существующие геофизические доказательства наличия как послойной, так и охватывающей всю мантию конвекции.

Nature. 1991. V. 350. N 6313. P. 55—57 (Великобритания).

Геотектоника

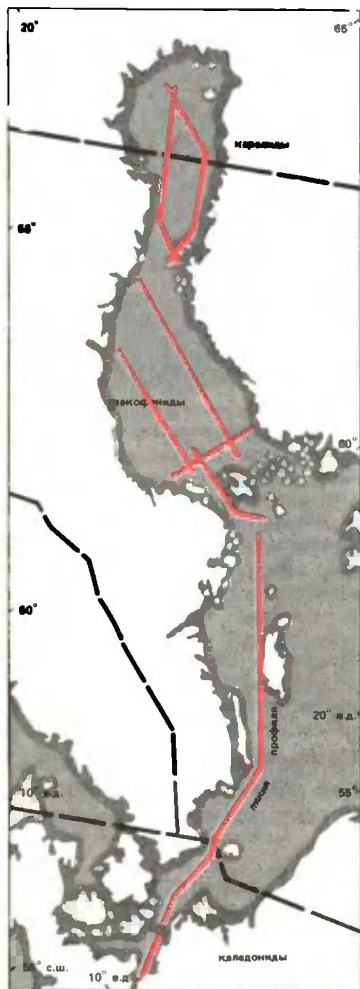
Сейсмическое изображение древнейшего складчатого пояса

Впервые удалось провести непрерывное глубинное сейсмическое профилирование через раннепротерозойский складчатый пояс¹; до этого сейсмические разрезы были получены через палеозойские и мезокайнозойские складчатые пояса (Аппалачи, Кордильеры, Альпы).

Группа BABEL (Baltic and Bothnian Echoes from the Lithosphere — Отражения волн от литосферы в Балтике и Ботническом заливе), объединившая ученых Англии, Швеции, ФРГ, Финляндии и Дании, исследовала Свекофинский пояс Балтийского щита с помощью широкоугольного сейсмопрофилирования, суть которого состоит в совмещении многоканального зондирования отраженными волнами со специальной постановкой сейсмографов. Поскольку подобная операция на суше

¹ См. также: Левин Л. Э. «Ураганные» концентрации золота на дне морей // Природа. 1991. № 3. С. 109—110.

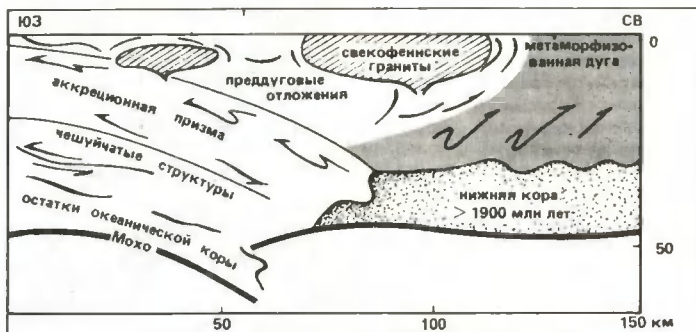
¹ BABEL Working Group // Nature. 1990. V. 348. N 6296. P. 34—38.



Сейсмический профиль длиной 2260 км через Балтийский щит вдоль Балтийского моря и Ботнического залива.

очень дорога, ее провели с исследовательских судов в Балтийском море: осенью 1989 г. был пройден профиль длиной 2260 км от г. Киля в Германии до вершины Ботнического залива.

Сигналы записывались с интервалом 18—35 с (время двойного пробега сейсмических волн), что позволяет зондировать литосферу на глубину до 50—60 км, т. е. практически на всю мощность коры. Пересечены важнейшие тектонические элементы: линия Торнквиста



Интерпретация разреза через нижнепротерозойский Свекофенский пояс у его контакта с архейским блоком карелид.

(юго-западная граница Восточно-Европейской платформы); раннепротерозойская (возраст около 2000 млн. лет) Свекофенская провинция Балтийского щита; структурный шов, отделяющий ее от архейской Карельской провинции.

Группа BABEL опубликовала пока итоги зондирования по северному отрезку профиля, пересекающему свекофениды и их границы с карелидами. Свекофениды сложены здесь метасадочными и метавулканическими породами, которые, согласно некоторым интерпретациям², возникли над раннепротерозойской зоной субдукции. Результаты работ группы BABEL показывают, что строение свекофенид типично для фанерозойских складчатых поясов: как и там, прослеживаются серии наклонных отражающих горизонтов на глубинах 10—40 км, формирующих в целом тонкочешуйчатую структуру, которая возникает при континентальном столкновении и множественных надвигах одних тектонических пластин на другие над зонами субдукции. Такая картина наблюдается вплоть до поверхности Мохо (на глубине 45—50 км). Обнаружен четкий разрыв поверхности Мохо с пододвиганием южного отрезка границы под северный.

Все это не оставляет сомнений, что свекофениды образовались так же, как и фане-

розойские складчатые пояса. Авторы статьи считают, что уже в раннем протерозое действовала та же тектоника плит, что и в фанерозое. Этот вывод имеет важное значение, поскольку применимость моделей тектоники плит многие исследователи пытаются ограничить лишь фанерозоем или даже последними 200 млн. лет жизни Земли. Другой серьезный вывод из результатов зондирования Балтийского щита состоит в том, что структура раннепротерозойского складчатого пояса сохраняется «законсервированной» 2 млрд. лет на всем сечении земной коры. Хотя известно, что лишь верхняя континентальная кора жесткая, а нижняя податлива и способна к перетеканию, эти различия внутри стабильного докембрийского щита никак не проявились.

Остается добавить, что крайне интересно подобное же сейсмопрофилирование Балтийского щита по Белому морю, где удалось бы пересечь и северную границу щита, и несколько структурных швов внутри него. Группа BABEL высказала желание сотрудничать в этом плане с советскими специалистами.

Л. П. Зоненшайн,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

География. Организация науки

Центр изучения Антарктики

Специальным решением правительства Австралии, принятым в марте 1991 г., при Уни-

² Gaal G., Gorbachev R. // Precambrian Res. 1987. V. 35. P. 15—52.

верситете штата Тасмания в Хобарте создается Центр изучения Антарктики, в задачи которого входит организация разносторонних исследований ледового континента и омывающих его вод. В своей политике Австралия исходит из того, что весь южнополярный регион должен быть превращен в заповедник и «страны науки», поэтому всякая деятельность промышленного, туристического или иного характера строго ограничивается. Новый центр должен собирать, хранить и распространять информацию, отвечающую этим целям. На создание и функционирование Центра ассигнуется на ближайшие семь лет 63 млн. австрал. долл. (примерно 27 млн. фунт. ст.).

New Scientist. 1991. V. 129. N 1761. P. 14 (Великобритания).

Сейсмология

Когда содрогнется Паркфилд!

В 1985 г. Геологическая служба США (Менло-Парк, штат Калифорния) опубликовала свой первый официальный сейсмический прогноз, согласно которому до конца 1993 г. в районе Паркфилда (Калифорния) должно произойти сильное землетрясение. Утверждение основывалось на том факте, что абзиси этого городка, расположенного в зоне разлома Сан-Андреас, подземные толчки с магнитудой $M=6$ по шкале Рихтера случались в минувшие 100 лет примерно раз в 22 года. Между тем последнее такое событие произошло здесь в 1966 г.

Разлом Сан-Андреас известен высокой сейсмичностью, поэтому сильный толчок в его паркфилдском сегменте действительно можно было ожидать в любой момент после 1988 г. Специалисты буквально насытили этот район разнообразной сейсмической аппаратурой, чтобы собрать максимум данных, необходимых для его изучения.

В августе 1990 г. два землетрясения с $M=3$ произошли на южной оконечности паркфилд-

ского отрезка. 9 и 10 сентября 1990 г. в северной части отрезка было отмечено еще два толчка такой же магнитуды. Это как раз тот район, где, согласно прогнозу, и должно было начаться мощное землетрясение и который подозрительно «молчал» с 1980 г. Было опубликовано официальное извещение «тревога С», означающее, что вероятность землетрясения в течение ближайших 24 ч равна 1,4—1,6 %. За предыдущие пять лет Геологическая служба США объявляла по Паркфилду 22 такие тревоги, но ни одной тревоги «В» или «А», которые указывали бы на еще большую вероятность события.

В октябре 1990 г. научный руководитель Паркфилдского прогностического эксперимента И. Релоф (E. A. Roeloff) заявил, что мощное землетрясение в Паркфилде может произойти в ближайшие месяцы. Однако к апрелю 1991 г. оно еще не произошло.

Science News. 1990. V. 138. N 14. P. 217 (США).

Климатология

Глобальное потепление и региональное похолодание

В 1990 г. общая тенденция к потеплению климата продолжалась. Средние годовые температуры превысили уровень рекордных в своем десятилетии 1983, 1987 и 1988 гг. Однако эти наиболее теплые годы совпадали с периодами очередных явлений Эль-Ниньо (циклически повторяющихся резких повышений температуры вод центральной и восточной частей Тихого океана и атмосферы над ними), а в 1990 г. Эль-Ниньо и не должно было происходить, и не наблюдалось в действительности.

Проанализировав эти факты, группа специалистов во главе с Ф. Джонсом (Ph. Jones; Отдел климатологических исследований Университета Восточной Англии в Норидже) и Д. Паркером (D. Parker; Метеорологическая служба Великобритании в Брекнелле) пришла к выводу, что потепление вызвано не

естественными колебаниями, а антропогенным парниковым эффектом.

В 80-е годы потепление приземного слоя атмосферы сопровождалось похолоданием в стратосфере, что согласуется с моделью парникового эффекта, приводящего, как известно, к удержанию значительной части тепловой энергии Солнца у земной поверхности. Однако ученые не исключают, что охлаждение стратосферы связано с разрушением в ней слоя озона.

Загадочным остается тот факт, что в некоторых регионах Земли одновременно наблюдается похолодание. Если в последние 10 лет сперва в южных океанах, а за ними в Сибири, Восточной Европе и на западе Северной Америки отмечалось потепление, то в Гренландии, на северо-востоке Канады и ряде островов советской Арктики наблюдается понижение средних температур.

В реальности, вопреки математическим прогнозам, в полярных районах потепления пока не было, хотя именно здесь оно ожидалось в наиболее ярко выраженном виде.

Германские климатологи завершают построение оригинальной математической модели, в которой, по их утверждению, впервые предсказывается, что в некоторых районах планеты в первой фазе общего потепления, связанного с парниковым эффектом, должно отмечаться падение средних температур¹.

Пока же все данные подтверждают гипотезу глобального потепления, которое впервые в истории Земли вызвано деятельностью человека, сжигающего огромные массы ископаемого топлива.

New Scientist. 1991. V. 129. N 1752. P. 20 (Великобритания).

¹ Доказательство того, что при глобальном потеплении происходит похолодание в некоторых районах Земли (в частности, в пределах субтропических и тропических широт), было получено около 10 лет назад советскими учеными на основе палеоклиматических реконструкций. См.: Величко А. А., Бараш М. С., Гричук В. П. и др. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1982. № 1. С. 15—27; 1984. № 1. С. 5—18 и др.— Прим. ред.

Археология

Зернотерка из палеолита Сибири

Интереснейшие находки на многослойных стоянках каменного века, расположенных на Верхнем Енисее у пос. Майна¹ (например, уникальная глиняная статуэтка, ныне экспонируемая в Государственном Эрмитаже), и ряд новых открытий заставля-

мень, идеально соответствовавший ей по размерам. Хотя при изучении палеолита Сибири неоднократно встречали плиты-терочники, служившие для обработки растительных материалов, майнинская находка — единственная в своем роде. По совокупности геолого-геоморфологических данных, слой, в котором найдена зернотерка, относится к концу палеолита (около 11 тыс. лет назад).

Таким образом, можно



Зернотерка и курант с палеолитической стоянки Уй II.

констатировать, что палеолитические обитатели долины верхнего Енисея наряду с охотой активно занимались сложными формами собирательства.

С. А. Васильев,
кандидат исторических наук
Ленинград

ют совершенно иначе взглянуть на уровень развития культуры древнейших обитателей Сибири, явно не уступавших по части технологических достижений своим европейским и ближневосточным современникам.

Очередная неожиданная находка была сделана во время раскопок в 1990 г. на соседней с Майнинской стоянке — Уй II. Среди обычных для палеолита остатков — раздробленные кости животных, углей, отщепов камня — во втором культурном слое были обнаружены каменная зернотерка, расколотая мощным ударом пополам, и гранитный курант — верхний ка-

держали органические вещества (кровь, яйца, молоко, мед, соки, моча, растительные или животные жиры и т. п.), обогащенные радиоактивным изотопом ^{14}C .

Напомним, что доля ^{14}C в живых организмах такая же, как в оксиде и диоксиде углерода, метане и других содержащих углерод компонентах атмосферного воздуха, где этот изотоп образуется в ядерных реакциях, инициируемых космическим излучением (например, $^{14}\text{N} + p \rightarrow ^{14}\text{C} + p$). После гибели животных, растений, бактерий и прекращения биохимических процессов углеродного обмена содержание ^{14}C в веществах биохимического происхождения непрерывно снижается по закону радиоактивного распада, уменьшаясь вдвое за 5,6 тыс. лет, что позволяет определить возраст объекта.

Однако при таком датировании наскальных изображений трудно отделить органическое вещество — ровесник рисунков — от минеральной части пигмента, имеющей значительно больший возраст и практически не содержащей радиоактивный изотоп. В результате ^{14}C биологического происхождения оказывается «разбавленным», что искажает (увеличивает) возраст исследуемых объектов. Эти сложности удалось преодолеть при селективном каталитическом окислении органической части пигментов в низкотемпературной кислородной плазме при пониженном давлении¹. При этом карбонаты не разлагаются, а органические вещества окисляются до углекислого газа и воды. После удаления воды из газопаровой смеси и восстановления углекислого газа водородом содержание ^{14}C измеряли масс-спектрометром и определяли возраст органической фракции пигмента.

Возраст пиктограмм Южного Техаса, полученный таким методом (3865 ± 100 лет), совпал с археологическими данными.

Л. П. Фирсова,
доктор химических наук
Москва

Археология. Химия

Датирование наскальных изображений

Возраст наскальных изображений определяют, как правило, косвенными методами, преимущественно по археологическим данным или по миграции ионов из красочного слоя в толщу скалы. В принципе возможно и прямое датирование радиоуглеродным методом, так как использовавшиеся древними художниками пигменты, кроме основных минеральных компонентов (окислы и карбонаты железа, магния и т. п.), обычно со-

¹ Васильев С. А. Палеолитический человек в горах Западного Саяна // Природа. 1988. № 3. С. 94—99.

¹ Russ J., Human M., Shafer H., Rowe U. // Nature. 1990. V. 348. N 6303. P. 710—711.

Совесть Академии

И. М. Зорич
Москва

СТУДЕНЧЕСКАЯ компания встречала новый год. Стоял обычный в таких случаях шум и гам. Вдруг дверь с грохотом распахнулась. Все замолчали. В проеме показался длинный, невероятно худой юноша с искаженным лицом. Огромными шагами он пронесся по комнате, бросился на колени перед кроватью и, воздев руки, трагически прокричал, обращаясь к другу:

— Коля, Коля, знаешь ли ты, почему покончил с собой Больцман?! Он не мог доказать Н-теоремы!!! — И уткнулся головой в подушку.

Фарс? Шарж? Нет, эпизод 70-летней давности из очерка Л. В. Парийской «Шестьдесят лет рядом», рассказывающий о студенте физфака МГУ, которого друзья звали Минькой, впоследствии знаменитом физике, академике Михаиле Александровиче Леонтовиче.

Он мог бы стать героем увлекательного романа, пьесы, фильма. В нем сочеталось несочетаемое, совмещалось несовместимое: мягкость и непреклонность, доброжелательность и граничащая с грубостью резкость, подчас несправедливая, собранность спортсмена и классическая «профессорская» раскованность, глубинная интеллигентность и полное пренебрежение к внешним атрибутам — одежде, быту, этикету.

То же и в науке. Мы привыкли, что истинный теоретик далек от экспериментальной физики. Леонтович же, будучи теоретиком высочайшего класса и широкого диапазона, не только превосходно разбирался в методике эксперимента, но и сам проводил тонкие исследования в области оптики, молекулярной физики,



ВОСПОМИНАНИЯ ОБ АКАДЕМИКЕ
М. А. ЛЕОНОВИЧЕ / Сост.
В. Д. Новиков. М.: Наука, сер.
«Ученые СССР. Очерки. Воспоминания, Материалы». 1990. 280 с.

радиотехники. И еще одно. Обладая блестящей физической интуицией, он, как это ни странно, равнодушно прошел мимо нескольких поистине эпохальных научных открытий, отмеченных позднее Нобелевскими премиями. Речь идет, в частности, об эффекте Черенкова и лазерах — лазерах. Леонтович с недоверием относился и к кварковой модели элементарных частиц, считая ее слишком сложной, чтобы адекватно отражать простоту природы. Вместе с тем многие свои идеи он щедро раздавал ученикам и коллегам, не заботясь о приоритете, не страдая честолюбивым стремлением застолбить их или набрать

статистику публикаций. Поэтому-то список научных работ, выпущенных Леонтовичем от своего имени, не слишком длинен, зато каждая — крупный вклад в ту область, которой посвящена.

Такую вот противоречивую натуру (а может, наоборот, истинно цельную) отразил сборник «Воспоминаний», в котором участвуют 40 именитых авторов, начиная с академика А. Д. Сахарова и кончая одним из самых молодых учеников Леонтовича, теперь уже доктором наук В. С. Лисицей.

Михаил Александрович Леонтович родился в 1903 г. в семье потомственных интеллигентов. Отец его — профессор физиологии животных, впоследствии действительный член Украинской академии, мать — врач-окулист, дед по материнской линии — выдающийся русский механик В. Л. Кирпичев, в доме которого он и воспитывался. Здесь-то и был заложен фундамент той культуры и эрудиции, которые много лет спустя восхищали в Леонтовиче всех, кто с ним соприкасался. Он превосходно знал историю, литературу, живопись, свободно владел французским, немецким, латынью. Г. А. Аскарьян в своем очерке вспоминает разговор с известным итальянским физиком, который, познакомившись на конференции с академиком Леонтовичем, был поражен его знанием латинских текстов Цицерона и Цезаря. «Это был один из самых образованных советских ученых», — заявил итальянец.

Что же сформировало Леонтовича-физика? С детских лет он проявлял особый интерес к естествознанию и математике, в 1919 г. поступил на физико-математический фа-

культет Московского университета и спустя год начал одновременно с учебной работой в Институте физики и биофизики, которым руководил П. П. Лазарев.

В 1925 г. Леонтович вместе с А. А. Андроновым, А. В. Виттом и С. Э. Хайкиным вошел в группу первых аспирантов Л. И. Мандельштама. За три года аспирантуры он опубликовал 10 работ, в том числе по зарождавшейся тогда квантовой механике. Так, вместе со своим учителем он выполнил в 1928 г. пионерскую работу по теории туннельного эффекта, в которой была впервые решена задача о прохождении частицы через энергетический барьер. Вскоре, как утверждает на страницах книги С. М. Рытов, эмигрировавший в США Г. А. Гамов, опираясь на эту работу (хотя и не ссылаясь на нее), дал объяснение α -распада. Но основные интересы Леонтовича были связаны с молекулярной оптикой (он участвовал в создании классической теории комбинационного рассеяния, так называемого рамановского эффекта) и со статистической физикой, в которой он, по мнению не склонного к восторженным оценкам Мандельштама, становится лучшим в стране специалистом.

До конца дней Михаил Александрович сохранил чувство преклонения перед памятью учителя. В трудное время конца 40-х он берется за редактирование заключительного, пятого тома «Собрания трудов» Мандельштама, а после выхода его в свет выдерживает массированную атаку бездарных физиков и пригретых властью полуграмотных философов. Выступая в начале 1953 г. на расширенном заседании ученого совета ФИАН (этому эпизоду посвящены в сборнике воспоминания И. Л. Розенталя), Леонтович не только не счел справедливыми обвинения в идеализме и прочих грехах, предъявленные его учителю и ему самому, не только не покаялся, как было принято, но четко определил свой взгляд на науку как на такой продукт человеческого духа, которому в корне чужды и догматическая канонизация мыслей, и фетишизация слов.

Коль скоро мы коснулись этого мрачного периода, то нельзя не сказать, что он не скрывал ни своего возмущения разгулом лысенковщины, ни презрения к «народному академику» (оказавшись как-то за одним с ним столиком в столовой Дома ученых, демонстративно пересел за другой) и открыто противостоял попыткам учинить аналогичный разгром в физике. Б. А. Трубников, упоминая в своем очерке о гонениях на физику и физиков, утверждает, что студенты (а он в то время учился в МИФИ) будто бы не сознавали надвигающейся опасности. Это не совсем так. Многие, в том числе автор этой рецензии, однокурсник Трубникова, с тревогой следил за развитием событий: зубодробительными статьями (например, появилась разгромная рецензия-пасквиль на блестящий, ставший классическим учебник С. Э. Хайкина «Механика»); издательствами над «безродными космополитами»; тенденциозными собраниями «научной общественности»... Обстановка накалялась. И вдруг, словно по мановению волшебной палочки, все прекратилось. Было непонятно, что произошло. Лишь много лет спустя Лев Андреевич Арцимович рассказывал, что «волшебной палочкой» взмахнул сам Сталин. Поскольку объяснение Арцимовича все же несколько отличается от версии А. С. Сониной, опубликованной в «Природе», позволю себе кратко воспроизвести его.

Трое ведущих физиков-ядерщиков обратились к Берии, которому подчинялась атомная промышленность, с просьбой: если правительство заинтересовано в продуктивной работе над бомбой (атомная уже была испытана и велась подготовка к испытаниям водородной), надо остановить занесенный над советской физикой меч. Берия ответил, что решение этого вопроса не в его власти и что он «докложит». Спустя несколько дней он уже сам вызвал к себе ученых и объявил вердикт:

— Товарищ Сталин ска-

зал: «Оставь их в покое. Расстрелять мы их всегда успеем».

К счастью, не успели. Я решился повторить этот рассказ потому, что он имеет прямое касательство к нашей теме. Во-первых, Леонтович, как видно из истории с публикацией наследия Мандельштама, был одним из потенциальных объектов готовившегося избиения, а во-вторых, он в это время как раз занимался атомной проблематикой, работая в так называемой Лаборатории измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН). Под этим псевдонимом скрывался руководимый И. В. Курчатовым главный центр ядерных исследований, теперь Институт атомной энергии. На работе в этом институте предшествовали важные этапы в творческой биографии Леонтовича.

Перейдя в конце 1934 г. из Московского университета в ФИАН, в лабораторию колебаний, которую возглавлял Н. Д. Папалекси, Михаил Александрович выполняет важнейшие исследования по физической оптике, молекулярной акустике, статистической физике, термодинамике, гидродинамике, теории электромагнетизма. Он, в частности, сформулировал приближенные граничные условия для электромагнитного поля на поверхности хорошо проводящих тел (работа была опубликована лишь спустя 10 лет, в 1948 г.). Эти «граничные условия Леонтовича» позволили решить большой класс радиофизических задач и сразу же прочно вошли в радиофизику и радиотехнику. Не случайно с первых же дней Великой Отечественной войны Михаил Александрович переключился на оборонную тематику. Вместе с Хайкиным он занимается радионавигацией и радиолокацией, возглавив специально созданную лабораторию на одном из военных заводов, разрабатывает совместно с М. Л. Левиним теорию тонких антенн (уравнение Леонтовича — Левина), получает уравнение для волновых полей с медленно изменяющимися амплитудами (метод параболического уравнения Леонтовича), решает другие теоретические и практические задачи.

В 1946 г. Михаила Александровича избирают действи-

¹ Сонин А. С. Сопровождение, которое не состоялось / Природа. 1990. № 3—5.

тельным членом Академии наук СССР. С этим, казалось бы приятным, событием связано одно из самых драматических переживаний в его жизни: в академике выдвигался и по высочайшему указанию не был избран И. Е. Тамм. Недавно в «Природе» об этом рассказывал Б. М. Болотовский². А вот что вспоминает в книге Л. В. Парийская. Вначале на три «физические» вакансии намечались кандидатуры Л. Д. Ландау, Г. С. Ландсберга и И. Е. Тамма. Но вдруг чуть ли не за день до выборов в «Правде» появились хвалебные статьи о Ландау, Ландсберге и... Леонтовиче, что могло свидетельствовать лишь об одном: «сверху» пересмотрели список. Михаил Александрович, считавший себя учеником Тамма, пришел в ярость, испуг и незамедлительно приступил к активным действиям. Целый день до поздней ночи он объезжал знакомых и незнакомых академиков, умоляя, заклиная их голосовать не за него, а за «соперника». Все клятвенно обещали. Нетрудно представить себе его состояние, когда были подведены итоги голосования: громадным большинством в академике прошел Леонтович. («Наш-то вернулся домой чернее тучи...», — констатировала его домработница Марфа Алексеевна.)

В ЛИПАН Леонтович был переведен в 1951 г. по инициативе Тамма. «При утверждении этого назначения Берией, — вспоминает А. Д. Сахаров, — разгласилась (в моем присутствии) характерная сцена. Когда на совещании в кабинете Берии была названа фамилия Леонтовича, сидевший рядом с Л. П. (так мы называли своего «шефа») референт Махнев — в прошлом начальник лагеря на Колыме —

передал ему записку. Берия молча прочитал записку и вслух громко сказал: «Ничего, мы будем за ним лучше следить».

Леонтович возглавил в ЛИПАНе теоретические исследования по управляемому термоядерному синтезу, и его участие в решении проблемы, которой он отдал 30 лет своей жизни, явилось огромной удачей для дела. Этому периоду посвящены многие воспоминания его сотрудников и учеников, включенные в сборник. Однако все эти долгие годы Леонтович боялся, что обстоятельства заставят его заниматься неприемлемым для его души делом — термоядерным оружием. Ужас преследовал его даже в полубреду на смертном одре.

Михаил Александрович скончался 30 марта 1981 г. В секретариате Президиума АН СССР сообщили, что официальный некролог будет подписан — согласно указанию Отдела науки ЦК КПСС — не людьми, знавшими и любившими покойного, а организациями, поскольку перед фамилиями ученых должны стоять фамилии хотя нескольких руководителей партии и правительства, а Леонтовичу это «не положено». Таким был последний пинок, который сильные мира сего не преминули нанести выдающемуся ученому. При жизни таких пинков Леонтовичу пришлось перенести немало. Например, вопреки установившейся традиции, его не отметили государственными наградами ни к 70-, ни к 75-летию. Слава Богу, Михаил Александрович, начисто лишенный честолюбия, был равнодушен к почестям, наградам, званиям, но это служило знаком явной немилости. За что же? Именно за то, что он был в высшей степени честным, порядочным, бескомпромиссным человеком.

Дураков он называл дураками, невзирая на титулы, бездельников — бездельниками.

Особенно доставалось чиновникам из аппарата и сотрудникам служб, стоявших на страже секретности.

Став академиком, а особенно войдя в состав Бюро Отделения общей физики и астрономии, Михаил Александрович постоянно выступал в роли возмутителя академического спокойствия, причем всегда по существу, в защиту дела и справедливости. Он, например, был одним из немногих, кто открыто воспротивился избранию в Академию наук Нухдина и прочих недостойных, по его убеждению, людей, к которым благоволили «инстанции». Столь же смело в годы брежневщины он поддерживал диссидентов, правозащитников (Даниэля, Галанкова и других), протестовал против использования психиатрии в карательных целях, подписывал обращения об амнистии и отмене смертных казней. По просьбе Сахарова Леонтович как-то поручился за арестованную по «самиздатскому» делу молодую женщину (получив такое письмо от еще не «скомпрометированного», в отличие от самого Сахарова, академика, «органы» ее освободили), взял к себе в секретари ученого-вотказника А. Воронеля, которого преследовали.

Удивительно, как насыщены фактами, оценками, чувствами страницы этого сборника. Среди них обидным исключением выглядят воспоминания академика А. П. Александрова, занявшие неполную страничку и посвященные одному малозначительному эпизоду из раннего детства Леонтовича и самого Александрова.

В рецензии, даже самой развернутой, трудно нарисовать колоритнейший образ Леонтовича, которого называли «живым классиком», «совестью Академии». Но прочитав книгу, читатель оценит справедливость этих слов.

² Болотовский Б. М. Глазами сотрудников ФИАН / Природа. 1991. № 3. С. 117—120.

Физика

П. А. М. Дирак. ВОСПОМИНАНИЯ О НЕОБЫЧАЙНОЙ ЭПОХЕ. Сб. статей / Пер. с англ. под ред. Я. А. Смородинского. М.: Наука, 1990. 208 с. Ц. 1 р. 10 к.

Один из крупнейших физиков-теоретиков современности Поль Адриен Морис Дирак (1902—1984) занимает особое место среди создателей квантовой механики. Развивая научные идеи своих предшественников, он смог не только построить математический аппарат, объединивший квантовую механику В. Гейзенберга и волновую механику Э. Шредингера, но и получить новые уравнения, которые в дальнейшем легли в основу теории явлений, в то время еще не открытых.

Жизнь ученого совпала с бурными историческими событиями. Революционные события происходили и в познании природы. Дирак был одним из тех, кто участвовал в них непосредственно. Его внешне размеренная жизнь полна самых разнообразных приключений. Все было в его жизни — талант, огромный труд, везенье и неудачи. И очень много интересных встреч. Как ученый, обладающий огромным диапазоном знаний, и блестящий человек, Дирак не мог не выражать своего отношения к происходящему.

Лекция Дирака «Воспоминания о необычайной эпохе» дала название сборнику его статей и лекций, в которых он рассказывает о научных открытиях в физике первой половины XX в. Началом этой необычайной эпохи он считает 1919 г., когда «...в мир с сокрушительной силой ворвалась теория относительности». Далее публикуются статьи (все — впервые на русском языке), посвященные развитию теории относительности, теории гравитации, квантовой теории поля и квантовой электродинамики. С описанием сложнейших физических и математических задач соседствует множество интереснейших исторических и биографических зарисовок, которые ор-

ганично вплетены в текст. В это издание включены и лекции из сборника «Пути физики», опубликованные в СССР в 1983 г.

Физика

М. Силадьи. ЭЛЕКТРОННАЯ И ИОННАЯ ОПТИКА / Пер. с англ. И. М. Ахмеджанова, Ф. В. Пригары, В. В. Овчарова. М.: Мир, 1990. 639 с. Ц. 4 р.

Монография американского физика посвящена электронной и ионной оптике, все шире применяемой в ускорителях элементарных частиц, электронно-лучевых приборах, спектрометрах, установках для субмикронной литографии. Математический аппарат ориентирован на моделирование процессов на ЭВМ. Принципы моделирования основаны на аналогии между геометрической оптикой и движением заряженных частиц в электростатическом и магнитном полях.

Для научных работников, инженеров, аспирантов.

Химия

П. Эткинс. МОЛЕКУЛЫ / Пер. с англ. А. А. Кирушкина. М.: Мир, 1991. 216 с. Ц. 3 р.

Книга известного английского ученого и популяризатора науки отличается от большей части научно-популярной литературы как по построению, так и по манере изложения. Здесь читатель не найдет почти никаких сведений о методах промышленного или лабораторного синтеза веществ, особенностях химической технологии. В ней описываются свойства более чем 160 различных соединений, выбранных автором таким образом, чтобы они могли дать представление об интересных явлениях и эффектах, связанных с особенностями химического строения. Прочитав книгу, можно узнать, почему вкусен шоколад, какова природа солнечного загара, чем обусловлен аромат цветов, как хамелеон меняет

окраску и еще много интересного.

Книга великолепно иллюстрирована, написана так, что не требует от читателя специальной подготовки.

Биология

Ю. Д. Клеопов. АНАЛИЗ ФЛОРЫ ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР. Киев: Наукова думка, 1990. 352 с. Ц. 7 р. 10 к.

Издание этого капитального труда, завершено автором еще до войны (он ушел из жизни в 40 лет — в 1942 г.), — событие в советской и мировой ботанико-географической литературе. В «Предисловии», написанном ныне покойным академиком Е. М. Лавренко, говорится, что выход книги — дань памяти талантливого ученого. Краткий очерк его научной и педагогической деятельности представлен редактором книги Д. Н. Добровичем.

После краткой характеристики природного комплекса, в условиях которого могут произрастать широколиственные леса, автор излагает свою оригинальную концепцию элементов флоры (групп видов с общностью биографии, экологии и современного распространения) и дает подробнейшее описание этих элементов для флоры лесов Европейской части СССР. В книге произведено районирование обширных пространств зоны широколиственных лесов и детально описаны основные типы липово-буковых, буковых, грабовых, березовых и других лесных сообществ. Автор объясняет, почему в европейских лесах немало восточноазиатских видов (с середины третичного периода их несли «миграционные волны») и почему в дубовых лесах сочетаются типичные лесные и степные виды (это результат оледенений).

В монографию включены также тезисы докторской диссертации автора (с тем же названием, что и книга), иллюстри-

рующие замечательную четкость мысли ученого. Приводимый в заключении алфавитный указатель растений делает книгу удобным справочником по видам широколиственных лесов.

Радиобиология

В. А. Барабой. ИОНИЗИРУЮЩАЯ РАДИАЦИЯ В НАШЕЙ ЖИЗНИ. М.: Наука, 1991 (Сер. «Человек и окружающая среда»). 224 с. Ц. 1 р. 50 к.

В книге в доступной форме излагаются современные представления о природе ионизирующей радиации, ее месте и роли в биосфере, действии на живые клетки и организмы. Автор знакомит читателей с успехами и неудачами радиобиологии, достижениями советских ученых, возможностями и перспективами защиты от радиационной опасности и лечения лучевых повреждений.

Значительное место отведено использованию атома в энергетике, биологии и медицине.

Для биологов широкого профиля.

Охрана природы

Т. К. Горышина. РАСТЕНИЕ В ГОРОДЕ. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1991. 152 с. Ц. 2 р.

Город отторгает природу. Климат в кварталах, закованных в асфальт, отличается более высокими температурами и сухим воздухом. Растения смягчают пагубное влияние асфальта и камня, увлажняют воздух, насыщают его целебными легкими ионами, снижают уровень шумов и загрязнения атмосферы. Среди хранителей здоровья городов не только деревья, кустарники и специально высаживаемые газонные травы, но и некоторые «растения-добровольцы», из которых один из самых заметных — одуванчик (чемпион по накоплению ядовитого свинца).

Книга рассказывает, как формируется городская флора; р. трудностях жизни деревьев (летом почва под асфальтом раскаляется, а зимой, когда убран снег, промерзает); о

растениях — взломщиках асфальта; неприметных мхах и лишайниках — верных показателях экологического состояния; традиционных английских газонах; фитодизайне... Читатель познакомится с работами сотрудников Полярно-Альпийского ботанического сада, которые создали зеленые оазисы в подземных штольнях на глубине сотен метров.

Отдельная глава посвящена пригородной растительности, необходимости постоянно контролировать ее состояние. Любопытен простой способ такого контроля: короткие куски проволоки того же цвета, что и растительность, вкапывают в почву. По их изгибам и вдавленности в землю можно судить об интенсивности и направлении людских потоков. Один из разделов книги называется «Дайте лесу отдохнуть».

География

MYSTERIES OF THE DEERS (from the depths of Lake Baikal to the ocean floor). Moscow: Progress Publishers, 1989. 384 p. 5 r. 20 k.
У. Богданов, Л. Зоненшайн, М. Кузьмин, А. Лисицын, А. Подражанский, А. Сагалевич. К ТАЙНАМ ДНА (от глубин Байкала до дна океана). М.: Прогресс, 1989. 384 с. Ц. 5 р. 20 к.

Восхищаясь меняющимися красками океана, изумляясь изогнутой линией горизонта, большинство из нас вряд ли сможет предположить, что темное и таинственное дно океана — сцена, на которой происходят непрерывные процессы глобального значения и о которых еще недавно мы не имели ни малейшего представления. Морские геологи изучают их, чтобы больше узнать о геологической истории. Применение специальной аппаратуры, в особенности глубоководные батискафы, дали ученым возможность увидеть то, что было скрыто от глаз наблюдателей.

Авторы книги, исследователи подводных глубин, рассказывают о дне океана, о гигантских расщелинах и вулканах, базальтовых лавах с температурой выше, чем у расплавленного свинца, бескрайних равнинах, покрытых толстым слоем

ила, протяженных горных хребтах, выбросах горячего дыма из «черных курильщиков», не просто описывая интересные и таинственные явления, но и пытаясь объяснить их.

Книга блестяще иллюстрирована подводными фото-снимками, сделанными с советских глубоководных аппаратов нового поколения «Мир», благодаря которым человечество уже сегодня может наблюдать выше 90 % дна Мирового океана. Остается надеяться, что эта красочная и увлекательная книга, адресованная преимущественно зарубежному читателю, найдет своих читателей и у нас в стране.

Этнография

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СААМОВ (по данным антропологии и археологии) / Отв. ред. Г. А. Аксенова. М.: Наука, 1991. 176 с. Ц. 1 р. 90 к.

Саамы, или лопари, — малый народ, живущий на севере Европы — в Финляндии, Швеции, Норвегии, СССР. До середины XIX в. они кочевали по обширным пространствам Норрландского плато, занимались оленеводством, охотой и рыбной ловлей. На большом историческом и археологическом материале авторы сборника рассматривают расовую специфику саамов, показывают антропологическую общность народов уральской языковой семьи.

Для антропологов, этнографов, археологов.

«Он не может быть заменен никем...»

В. П. Волков,

доктор геолого-минералогических наук

Е. В. Есакова

Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского АН СССР
Москва

ЕСЛИ БЫ не рассекреченные архивы, мы бы еще, может быть, сомневались в том, что в недалеком прошлом одним из способов борьбы властей с неудобными людьми был особый моральный и психологический террор. Похоже, он целенаправленно применялся к Вернадскому. А состоял в том, что в лабиринтах ГУЛАГа друг за другом исчезали друзья его детства, родные, сотрудники, ученики... В конце 30-х волна репрессий накрыла и его любимое детище — Биогеохимическую лабораторию. Из примерно 20 ее сотрудников были арестованы четверо. О троих — В. А. Зильберминце, А. М. Симорине и А. А. Кирсанове — «Природа» уже писала¹. Четвертым был Бруно Карлович Бруновский — радиогеохимик, известный в стране и за рубежом.

В дневниковых записях Вернадского, так называемой «Хронологии», есть строки, написанные в годы войны: «Дошло до нас известие о гибели Бруно Карловича Бруновского, арестованного при негодяе Ежове... выяснилось, что Бруновский погиб — утонул при аварии парохода, который перевозил арестованных в Сибирь. Это один

из бесчисленных случаев злоупотреблений властью, в конце концов ослабляющих власть идейную. (...) Убийство Б. К. Бруновского — никак иначе нельзя... чувствовать как проявление гниения идеологической основы коммунистического строя, к сожалению, встречающегося на каждом шагу».

По официальной версии, Бруновский скончался от порока сердца 13 ноября 1938 г. и похоронен на кладбище лагунки пос. Заболоченный Сусуманского района Магаданской области.

Понятно, что о Бруновском, несмотря на значительность его работ, сведений сохранилось очень мало. Картину его жизни пришлось собирать буквально по крохам. Вот как вспоминает о Бруно Карловиче один из старейших наших петрографов Валерий Петрович Петров (они были соседями по дому на 1-й Мещанской, где тогда жили многие ученые Академии наук).

— Бруно Карлович был очень добродушный, тихий человек, страшно увлекался охотой, в его семье были две пожилые женщины, немки по национальности. Когда Бруно арестовали, они оказались совсем без средств к существованию, соседи по дому организовали им репетиторство по немецкому языку, тогда ведь дети московских школ в основном немецкий учили... А потом большинст-

во жильцов дома отправились в эвакуацию. Вернулись в 43-м, никого из Бруновских уже не было.

Сам Бруновский оставил о своей семье удивительное по чистоте и наивности свидетельство в тексте официальной автобиографии, подписанной 16 мая 1936 г.: «Жены не имею. Состав моей семьи следующий: мать (72 года) ведет хозяйство внутри дома. Тетя (68 лет) производит все нужные покупки и готовит еду. Мать и тетя присматривают за моей собакой (ирландский сеттер), который является четвертым членом моей семьи».

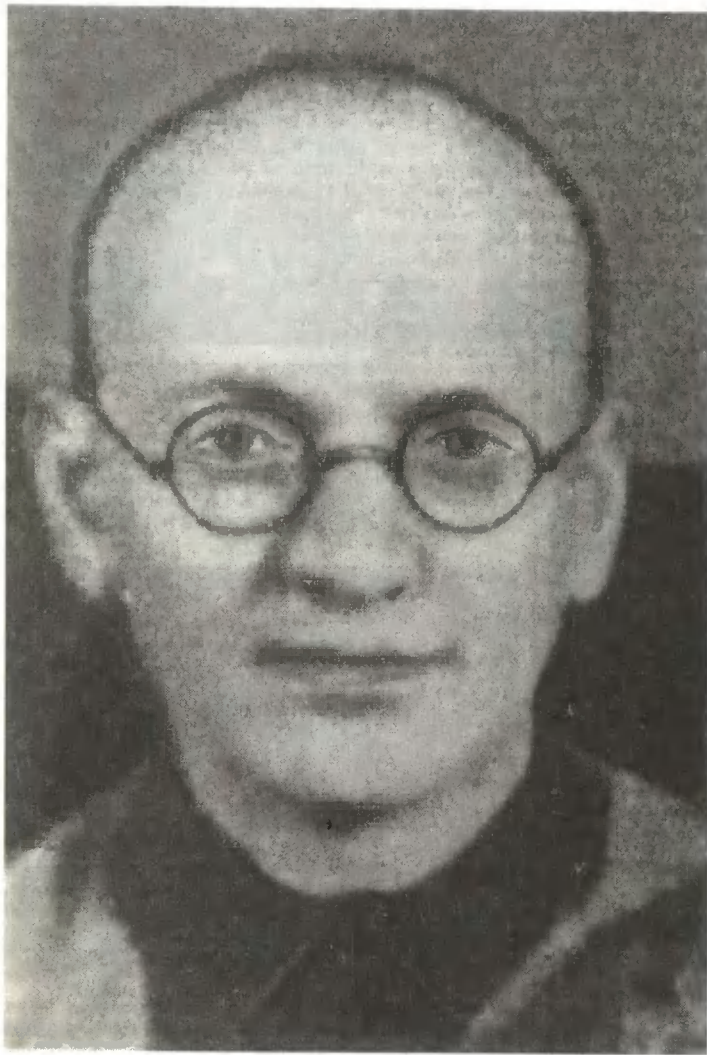
Бруновский родился 3 февраля 1900 г. в Петербурге в семье обрусевшего немца, бухгалтер лесного предприятия «Роберт Дитлер». В разгар гражданской войны, в 1919 г., окончив к этому времени гимназию, Бруно вместе с родителями переехал в глухой уезд Тверского края в посаде Селижарово, где преподавал в местной школе химию и немецкий язык.

В 1922 г. вся семья возвратилась в Петроград, Бруновский был принят на работу в Государственный радиевый институт, основанный Вернадским. Осенью того же года вместе с тремя горными инженерами он выехал на Тюямуонский радиевый рудник в Фергане, где в то время еще действовали отряды басмачей. Тюямуонское месторождение рассматривалось

¹ Волков В. П. «Родина еще сумеет отблагодарить Вас...» // Природа. 1988. № 11. С. 48—56; Коробова Е. М. «Я был, есть и буду его учеником» // Природа. 1990. № 6. С. 124—128; Волков В. П. «У них был кружок мистических поэтов...» // Природа. 1990. № 11. С. 126—128.

² Архив АН СССР. Ф. 518. Оп. 2. Ед. хр. 48. Л. 118, 191.

³ ААН СССР. Ф. 411. Оп. 6. Ед. хр. 415. Л. 10.



Бруно Карлович Бруновский
(1900—1938).

как перспективное на радий, и требовалось определить концентрацию урана в породах. Бруно Карлович успешно поставил эту работу, провел систематические электрометрические измерения радиоактивности пород, вод и воздуха в горных выработках. С очевидной гордостью позднее он писал: «Материалы, добытые радиевой экспедицией, легли в основу акта эксплуатации месторождения, и через несколько лет страна по-

лучила первый грамм радия из собственного сырья»⁴.

На следующий год Бруновский был принят вольнослушателем в Ленинградский университет по физико-математическому отделению без отрыва от работы в Радиевом институте. В 1927 г. он окончил университет, однако официального свидетельства почему-то не получил. Для Вернадского это значения не имело, тем более что Бруно Карлович к этому времени уже напечатал несколько работ, и при организации Биогеохимической лаборатории в

1928 г. он стал научным сотрудником I разряда.

В Биогеохимической лаборатории Бруновский организовал радиобиологическое отделение, где велись работы по изучению радиоактивности организмов и среды их обитания. Впервые было установлено, что в различных видах рыбки накапливаются изотопы радия и не накапливаются изотопы тория. «Эти факты,— писал Бруновский,— как будто говорят за то, что организм учитывает при усвоении какого-либо радиоактивного элемента, удовлетворяющего его химические потребности, характер излучения и запас энергии, носителем которой он является. Мы тут подходим к чрезвычайно тонким явлениям, и приемы радиоактивного измерения, как видно, являются весьма благодарным методом для решения целого ряда обширных вопросов, связанных с выяснением значения радиоактивных элементов в малых концентрациях для живых веществ»⁵.

После ареста Бруно Карловича в марте 1938 г. Вернадский писал Вышинскому: «Он не может быть заменен никем до сих пор, т. к. работа по радиоактивности организмов — работа, требующая большой и долгой выучки»⁶.

Работу Бруно Карловича в этом направлении Вернадский оценивал очень высоко: «Эти новые явления (явления радиоактивности организмов) вызвали количественное определение радия в животных и растительных организмах, впервые в таких размерах и с такой точностью произведенные. В 1933 г. Б. К. Бруновскому и К. Г. Кунашевой удалось доказать концентрацию организмами (рыской) мезотория-1. Эти открытия уже достаточно определяют значение работы, проводимой и организованной Б. К. Бруновским...»⁷.

В кристаллографическом

⁵ Цит. по: Микулинский С. Р. Очерки развития историко-научной мысли. М., 1988. С. 384.

⁶ Бруновский Б. К., Кунашева К. Г. К вопросу о нахождении мезотория в растениях // Природа. 1938. № 11. С. 68—70.

⁷ ААН СССР. Ф. 411. Оп. 6. Ед. хр. 415. Л. 16.

⁴ Там же. Л. 9, 10.

секторе Ломоносовского института, куда Бруновский был приглашен А. Е. Ферсманом в 1931 г., он создал установку для рентгеноструктурного анализа. Результаты исследования структуры одного из только что открытых в Хибинах цирконосиликатов (катаплеита) были представлены в качестве докторской диссертации. По отзыву академика А. В. Шубникова, «эта работа является первой чисто структурной работой, сделанной в пределах СССР советским научным работником»⁸. Академик

Н. В. Белов всю жизнь с восхищением вспоминал талантливого молодого ученого, сделавшего первые в России расшифровки кристаллической структуры минералов на собранной им установке.

Кроме того, Бруновский применил радиоактивную и рентгеновскую методики для решения многочисленных конкретных вопросов из соседних областей — минералогии, почвоведения, кристаллохимии. Всего за 15 лет он опубликовал около 30 статей, часть из которых вышла за рубежом.

Вернадский считал его чрезвычайно перспективным

ученым и в 1936 г. настойчиво хлопотал о его зарубежной командировке. «Я прошу направить Б. К. Бруновского, — писал он, — для работы в радиометрических лабораториях Швеции, где он должен овладеть новой методикой, и ознакомиться с радиевыми институтами в Праге, Вене и Париже»⁹.

Но за рубеж его не пустили. Ему была уготована другая участь.

⁸ Там же. Л. 15.

⁹ ААН СССР. Ф. 2. Оп. 1. Ед. хр. 378. Л. 25.

Над номером работали
Заместитель ответственного
секретаря О. В. ВОЛОШИНА

Научные редакторы:
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
Л. П. БЕЛЯНОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Л. Д. МАЙОРОВА
Н. Д. МОРОЗОВА
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературный редактор
Г. В. ЧУБА

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией
С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА

Корректоры:
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА,
Т. Е. ДЖАЛАЛЯНЦ

В художественном оформлении
номера принимали участие:
Б. А. КУВШИНОВ,
Е. К. ТЕНЧУРИНА,
Ю. В. ТИМОФЕЕВ

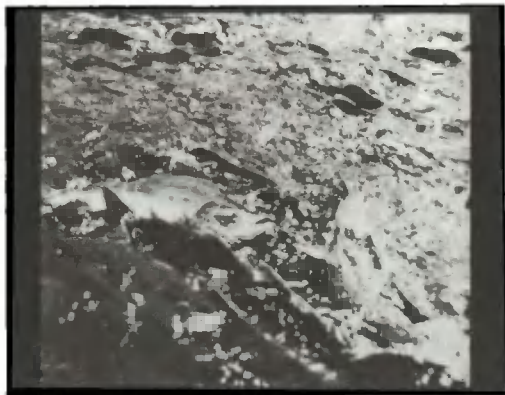
Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 2.07.91.
Подписано в печать 26.08.91.
Формат 70×100 1/16
Бумага офсетная, № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1076,2 тыс.
Уч.-изд. л. 15,0
Тираж 40 200 экз.
Зак. 1114
Цена 1 р. 20 к.

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
Производственного объединения
«Периодика»
Министерства информации
и печати СССР
142300, г. Чехов
Московской области

ПРИРОДА 10⁹¹



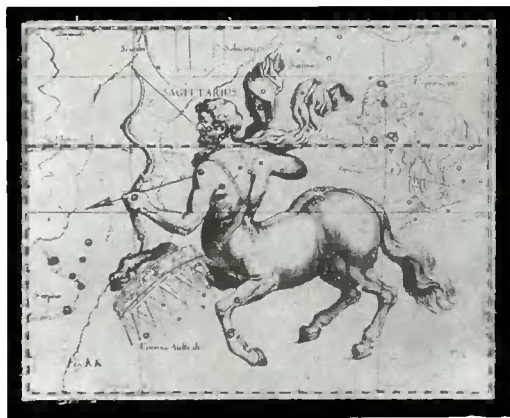
Как тихоокеанские лососи находят дорогу к месту своего рождения? Откуда черпают энергию во время нерестового хода? По каким сигналам идут в море, а потом снова в реки? Это лишь немногие вопросы, на которые получен ответ, но масса еще неразгаданных.

Максимович А. А. ТИХООКЕАНСКИЕ ЛОСОСИ: ЛЕГЕНДЫ И ФАКТЫ



«Природа» в последнее время не раз обращалась к проблеме Арала, но состояние этого региона внушает столь серьезные опасения, что мы вновь публикуем подборку из двух небольших статей, где рассматриваются различные аспекты аральского кризиса.

СНОВА ОБ АРАЛЕ



Какой смысл несут в себе созвездия Зодиака, ставшие излюбленным полем пророческих спекуляций? Можно полагать, что в представлении древних они служили «божественными жилищами» Солнца, обозначавшими точки равноденствия и солнцестояния. Это открывает путь к их датировке.

Гурштейн А. А. МИНУВШИЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ В ЗЕРКАЛЕ ЗОДИАКА

В современной теории частиц для элементарной длины (в строгом смысле) не осталось места. Если лишить это понятие прежнего «экстремизма», можно считать, что элементарная длина совпадает с планковской. Но подобное утверждение окажется неверным, если эксперимент обнаружит «новую физику» на масштабах, больших планковских.

Киржниц Д. А. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ДЛИНА

Судя по всему, в дальнейшем освоении космического пространства не обойтись без ядерных энергетических установок. В их разработке наша страна вот уже более 20 лет сохраняет безусловный приоритет.

Грязнов Г. М., Пупко В. Я. СОВЕТСКАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА «ТОПАЗ-1»

Все больше ученых из нашей страны уезжают работать за рубеж. Насколько им удастся «вписаться» в систему научных исследований на Западе? Каковы принципиальные различия в подходах к занятиям наукой у нас и за рубежом? Об этом размышляет известный советский физик, уже много лет работающий в Израиле.

Азбель М. ИЕРУСАЛИМСКИЕ РАЗМЫШЛЕНИЯ

