

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1986/1

Б.М.Владимирский
Л.Д.Кисловский
КОСМИЧЕСКИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ
И ЭВОЛЮЦИЯ
БИОСФЕРЫ



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ББК 22.63
В57

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 5 |
| Древнее Солнце | 7 |
| Вспышки близких Сверхновых | 22 |
| Молекулярные облака и земная экология | 36 |
| «Иридиевые» аномалии и древние кратеры | 47 |
| Биосфера и космос | 59 |

Владимирский Б. М., Кисловский Л. Д.

В57 Космические воздействия и эволюция биосферы.— М.: Знание, 1986.— 64 с.— (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 1).

11 к.

В последнее время все большее внимание к себе привлекают космические явления, которые могли бы существенно повлиять на эволюцию биосферы в геологическом масштабе времени. К ним относятся и крупномасштабные изменения на Солнце, и близкие к нам взрывы Сверхновых, и прохождение Солнечной системы сквозь межзвездное молекулярное облако и падение на Землю крупных астероидов и комет. Насколько опасны все эти явления для жизни на Земле и насколько они могли в прошлом повлиять на эволюцию биосферы, рассказывается в данной брошюре.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся современными проблемами естествознания.

1705040000

ББК 22.63
524

·ПРЕДИСЛОВИЕ

Примечательной особенностью развития науки в последние десятилетия являются интегративные тенденции: важнейшие области знаний развиваются в наше время не изолированно друг от друга, но в постоянном и систематическом взаимодействии. Такая закономерность имеет место и для современной астрофизики. Ныне общепризнано, что проблема происхождения жизни не может обсуждаться без учета данных, получаемых при радиоспектроскопических исследованиях межзвездной среды. Поиск во Вселенной внеземных цивилизаций привел астрофизику в соприкосновение с биологией и социологией. Сейчас мы являемся свидетелями быстрого развития исследований, которые проводятся совместно астрофизиками и представителями наук о Земле. Подобная кооперация возникла сравнительно недавно в связи с попытками уяснить, насколько важны астрофизические явления и процессы для понимания истории Земли и эволюции ее биосферы.

Предлагаемая читателям брошюра Б. М. Владимирского и Л. Д. Кисловского представляет собой краткий обзор исследований в этом направлении, получившем условное название «космического катастрофизма». Предназначенный для неспециалистов, этот обзор не включает в себя ряд работ, которые сейчас кажутся «не очень важными», содержание других работ изложено кратко, опущены многие «технические детали». Все это экономит время и внимание читателя, но одновременно затрудняет самостоятельную оценку степени обоснованности тех или иных гипотез и суждений. Это особенно важно для вопросов, по которым сейчас ведется полемика.

В частности, такими остродискуссионными являются

вопросы о периодичности «великих вымираний» в истории биосферы и бомбардировке поверхности Земли телами астероидальных размеров. Уместно подчеркнуть, что ведущиеся в настоящее время споры не касаются принципиальной стороны дела. Сама идея о том, что столкновение Земли с достаточно крупным космическим телом может сопровождаться экологической катастрофой и массовой гибелью организмов, высказанная еще П. Лапласом, не встречает, конечно, возражений. Разумеется, ничего невозможного нет и в том, что некоторые смены форм жизни в геологическом прошлом происходили при катастрофических событиях (задолго до Ж. Кювье об этом писали Р. Гук и Г. Лейбниц). Однако каков реально вклад катастроф космического происхождения в конкретную историю смен форм жизни на Земле, пока неясно. Это и есть предмет дискуссии. Авторы брошюры в общем объективно изложили ситуацию, какой она представляется на сегодняшний день, отметив, что решение ряда важных спорных вопросов — дело будущих исследований.

Обсуждение различных аспектов «космического катастрофизма» в зарубежной литературе, к сожалению, нередко носит привкус сенсации, а иногда сопровождается псевдонаучными рассуждениями. Таковы, например, предположения о том, что если бы не произошло катастрофы, уничтожившей динозавров, Землей владели бы их разумные потомки «динозавроиды»... Авторы брошюры благоразумно воздержались от изложения подобных спекуляций. Зато они довольно полно рассказали о других возможных вариантах космических влияний на историю жизни на нашей планете: о солнечных супервспышках близких Сверхновых, прохождении Солнечной системы через галактические газопылевые облака. Приходится признать, что экологические последствия всех этих событий изучены еще недостаточно. Это обстоятельство, однако, не мешает присоединиться к мнению тех астрофизиков, кто считает, что история биосферы не может быть в полной мере описана и понята без учета явлений, протекающих в космосе.

А. А. БОЯРЧУК,
член-корреспондент
АН СССР

..Необходимость космических сил для проявления земной жизни связана с ее тесной связью с космическими явлениями, с ее космичностью.

В. И. Вернадский

ВВЕДЕНИЕ

Безотчетный инстинктивный страх перед слепыми силами природы был присущ мироощущению первобытного человека. Отголоски этого страха, особенно перед малоизученным космосом, действовали на людей и в последующие эпохи. Как ни странно, но чем больше человек познавал свое космическое окружение, тем большее беспокойство вызывала у него возможность глобальной космической катастрофы. В начале столетия среди населения земного шара широко распространились панические настроения в связи с предстоящим пересечением орбиты Земли хвостом кометы Галлея. Как известно, совсем недавно в различных кругах за рубежом вспыхнула паника в связи с пресловутым «парадом планет».

Но могут ли действительно космические явления представлять собой какую-нибудь опасность для Земли? Могут ли вообще космические процессы оказывать влияние на земные процессы? Имело ли место подобное вмешательство в процесс эволюции биосферы раньше?

Методологические принципы, на которых строится изучение истории Земли, а также важнейшие постулаты теории эволюции биосферы существенным образом зависят от ответов на эти вопросы. Проиллюстрируем это на простом примере. Если крупномасштабные изменения экологических условий на поверхности Земли происходят по чисто земным причинам, они должны происходить медленно, поскольку в земной коре невозможно накопить энергию для быстрого (скажем, в течение нескольких суток) глобального изменения экологической обстановки. Знаменитое извержение вулкана Санторин в XV в. до н. э. (приведшее к упадку минойскую цивилизацию) или взрыв вулкана Тамбора в 1815 г. (пыль от этого взрыва вызвала внезапное похолодание и снегопады в июне на всем Северном полушарии) имели, как полагают, предельные энерговыделения (порядка 10^{27} эрг). Медленное, постепенное изменение эко-

логических условий сразу предопределяет в этом случае и выбор моделей биологической эволюции.

Однако если в историю Земли какой-то вклад вносили астрофизические явления (например, близкий взрыв Сверхновой), то глобальные изменения наступали внезапно и быстро (например, резко увеличивался бы приземной поток ультрафиолетового излучения после близкого взрыва Сверхновой). Факты, указывающие на то, что какой-то вклад в земную экологию вносят процессы, протекающие вне Земли (в ближнем и дальнем космосе), накапливались уже давно. Мысль о том, что эволюция биосферы протекает в условиях, определяемых совокупностью чисто земных и космических явлений, высказывали в разные времена Х. Шепли и И. С. Шкловский. Этой точки зрения придерживаются Ф. Хойл и В. Маккри.

В последние годы постепенно оформилось особое направление исследований, получившее название «космического катастрофизма». Поскольку планомерные целенаправленные исследования в этом направлении начались сравнительно недавно, конкретных устоявшихся результатов получено не так уж много. Так, установлено, что солнечная активность изменяется на протяжении длительных интервалов времени во много больших масштабах, чем это следует из сравнительно короткого ряда телескопических наблюдений Солнца. Однако существуют ли реально так называемые супервспышки, которые могли бы оказывать повреждающее воздействие на биосферу, не ясно. Нет сомнений в том, что Сверхновые десятки раз вспыхивали в ближайших окрестностях Солнечной системы и что такие события воздействовали на нашу среду обитания, но связь конкретных кризисных этапов в развитии биосферы с этими явлениями продолжает оставаться неизвестной. За последние 3 млрд. лет истории биосферы Солнечная система много раз проходила через молекулярные облака межзвездного газа, что неизбежно имело какие-то экологические последствия, но какие именно — сказать пока нельзя.

Все же некоторые из теоретических и наблюдательных результатов, полученных в рамках данного направления, очень интересны. И, может быть, самым главным итогом исследований, о которых пойдет речь в этой брошюре, является прежде всего то, что в настоящее

время приведено достаточно соображений и аргументов, демонстрирующих необходимость учета астрофизических данных в экологии и палеоэкологии, в связи с чем выдвижение конкретной гипотезы о влиянии какого-либо космического процесса на биологическую историю сейчас уже не представляется псевдонаучной ересью.

Любое новое направление исследований имеет, разумеется, свою историю, и «космический катастрофизм» — отнюдь не исключение. За недостатком места мы не можем здесь рассказать об истоках и истории этих идей. Единственное, на что хотелось бы обратить внимание, — это определенная связь данного направления исследований с идеями книги знаменитого естествоиспытателя Ж. Кювье «Рассуждение о переворотах на поверхности земного шара» (1812 г.). В этой книге, где излагается история геологических катастроф, автор не связывает их с космосом. Но современный «космический катастрофизм» отмечает, что космическое воздействие на историю Земли, на эволюцию биосферы носит нередко именно катастрофический характер. «Итак, жизнь не раз потрясалась на нашей Земле страшными событиями» — эти слова Ж. Кювье очень подошли бы в качестве эпиграфа ко многим публикациям по проблемам «космического катастрофизма».

ДРЕВНЕЕ СОЛНЦЕ

Наш рассказ о возможном воздействии космических процессов на ход земной истории (включая эволюцию биосферы) целесообразно начать с вопроса об устойчивости и постоянстве ближайшей к нам звезды — Солнца. Согласно современным представлениям о звездной эволюции, желтый карлик спектрального класса G2 (такова видовая принадлежность Солнца звездному населению) является весьма стабильным объектом с очень медленными изменениями основных параметров. В процессе этой эволюции не возникает каких-либо структурных перестроек звезды, но происходит постепенное увеличение светимости — примерно на 1% за 50 млн. лет. Последнее указывает, что за время существования биосферы (3,5 млрд. лет) светимость Солнца должна была увеличиться на довольно значительную величину (десяти процентов). Теория не исключает и относительно

кратковременных (в геологических масштабах времени) изменений светимости.

Солнечная активность сейчас и в прошлом. В поверхностных слоях Солнца, около 100 тыс. км ниже поверхности (фотосферы), перенос энергии от источника (в солнечном ядре) наружу осуществляется конвекцией: некоторый объем нагретого газа поднимается к поверхности, охлаждается, затем, становясь тяжелее, опускается за следующей порцией тепла и т. д. Кроме того, благодаря магнитному полю некоторая небольшая доля энергии может временно накапливаться в поднимающихся объемах газа, переноситься в фотосферу и хромосферу (нижний слой солнечной атмосферы) и там быстро выделяться, например в виде вспышки. Такова физическая суть явлений, называемых собирательно солнечной активностью.

Доля энергии, перехватываемая этими процессами от основного потока энергии, очень невелика. Поэтому обычные вариации солнечной активности сопровождаются ничтожными изменениями общей (интегральной) светимости Солнца (менее 0,1%). Однако солнечная активность включает в себя процессы, где энергия выделяется в концентрированном виде: выбросы плазмы, ускоренные частицы, рентгеновское излучение и т. п. По этим каналам солнечная активность существенно влияет на земные погодно-климатические явления, воздействует на биосферу.

Внешние проявления солнечной активности на поверхности Солнца обстоятельно изучены и подробно описаны¹. Подавляющее большинство явлений солнечной активности наблюдается в центрах солнечной активности, или активных областях (АО). Большая часть АО проходит свой путь развития за время, меньшее периода вращения Солнца (27 сут), но нередко бывает, когда АО видна многие месяцы. Наряду с эволюционными изменениями время от времени в АО происходят и быстропротекающие явления. Важнейшим из них является хромосферная вспышка — взрывоподобное выделение энергии, запасенной в магнитных полях при конвективных движениях.

Большая часть энергии хромосферной вспышки вы-

¹ См.: Витинский Ю. И. Солнечная активность. М., Наука, 1983.

деляется в виде кинетической энергии выбрасываемого облака плазмы. Значительная доля энергии приходится на солнечные космические лучи, которые представляют собой ускоренные до субсветовых скоростей ядра атомов водорода (протоны), гелия (α -частицы) и более тяжелых элементов. Процесс ускорения частиц сопровождается резким усилением радио-, ультрафиолетового и рентгеновского излучений¹.

На основании измерений, проводимых в спектральной линии водорода H α , оценивают мощность вспышки, приписывая ей определенный балл. Высший балл 4 имеют вспышки исключительной мощности, но такие события случаются на Солнце очень редко, один-два раза за 11-летний цикл солнечной активности. Значительно чаще наблюдаются очень слабые вспышки, которым даже нельзя приписать балл 1, поэтому их и называют субвспышками (в некоторых АО они происходят каждые несколько минут). Суммарная энергия, выделяемая во вспышках балла 4, достигает 10^{32} эрг, и такой взрыв в 100 млн. раз сильнее, чем Тунгусская катастрофа. Однако по космическим масштабам это довольно скромное событие.

Но, может быть, на Солнце могут иногда происходить и существенно более мощные вспышки?

Имея в виду такую гипотетическую возможность, проследим воздействие вспышки балла 4 на нашу среду обитания и на биосферу в целом. Вспышечный выброс и образовавшаяся при взрыве ударная волна достигают Земли примерно через сутки. Воздействуя на земную магнитосферу, они вызывают магнитную бурю со всеми сопровождающими ее космогеофизическими явлениями: полярными сияниями, глобальными усилениями инфразвуковых акустических колебаний, возмущениями электромагнитного поля на сверхнизких частотах и т. п. Как известно, электромагнитные и инфразвуковые возмущения влияют на физиологические показатели живых организмов (в том числе и организма человека) и иногда они могут быть опасны².

Серьезного внимания также заслуживает резкое воз-

¹ Подробнее о хромосферных вспышках см.: Северный А. Б., Степанян Н. Н. Солнечные вспышки. М., Знание, 1976.

² См.: Владимирский Б. М., Кисловский Л. Д. Солнечная активность и биосфера. М., Знание, 1982.

растание интенсивности солнечных космических лучей. Оно начинается спустя десятки минут после начала вспышки и еще до наступления магнитной бури. Наиболее энергичные частицы, с энергией несколько гигаэлектронвольт, достигают земной поверхности, увеличивая на короткое время фон жесткой ионизирующей радиации. Частицы с меньшей энергией (несколько десятков мегаэлектронвольт), которых много больше, приходят позже и полностью поглощаются в стратосфере, на высотах 20—30 км. Поскольку частицы таких малых энергий отклоняются геомагнитным полем к полярным районам, поглощение их происходит на высоких широтах.

Попадание на Землю большого числа таких частиц может иметь существенные экологические последствия: они оказывают повреждающее воздействие на озоносферу — экран, защищающий живые организмы от ультрафиолетовой радиации. Впервые это явление было обнаружено прямыми измерениями после мощнейшей вспышки 4 августа 1972 г. Причинно-следственная цепочка, лежащая в основе объяснения этого явления, такова. Частица космических лучей расщепляет и ионизирует молекулу атмосферного азота, который немедленно окисляется кислородом до окиси азота NO. А молекула окиси азота является катализатором уничтожения озона: $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$; $\text{NO}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{O}_2$. Отметим, что приведенная схема является упрощенной и поясняет лишь суть явления (существуют, конечно, и другие катализаторы уничтожения атмосферного озона, явление некоторых из них связано, как известно, с промышленной деятельностью человека).

Уменьшение толщи озоносферы, обусловленное солнечными космическими лучами малой энергии, удерживается относительно долго. Так, после упомянутой вспышки 4 августа 1972 г. полное восстановление концентрации озона в атмосфере заняло более месяца. Солнечные космические лучи обычных больших вспышек в нашу эпоху эффективно воздействуют на озоносферу только на высоких широтах (не менее 60°). Однако когда напряженность геомагнитного поля уменьшается (или когда оно практически исчезает при смене своей полярности, о чем будет рассказано ниже), повреждение озоносферы солнечными космическими лучами делается глобальным.

Естественно, тот же эффект имеет место при возрастании интенсивности галактических космических лучей (о чем речь впереди) и вообще любого ионизирующего излучения, поглощаемого в озоносфере.

Даже сравнительно небольшие изменения в толщине озоносферы (например, на несколько процентов) приводят к существенным вариациям интенсивности ультрафиолетового солнечного излучения близ длины волны 290 нм (внеатмосферный поток этого излучения не изменяется при вариациях солнечной активности). А излучение близ длины волны 290 нм очень биологически активно, так как перекрывает полосу поглощения двух важнейших классов органических соединений — белков и ДНК. Поэтому облучение живых организмов подобным излучением значительной интенсивности приводит к их быстрой гибели (что и используется при стерилизации). С этим же связаны хорошо известные мутагенные и канцерогенные свойства этого излучения. Одним словом, сколько-нибудь значительное увеличение интенсивности приземного ультрафиолетового излучения около указанной длины волны смертельно опасно для подавляющего большинства организмов.

Не подлежит сомнению, что сам феномен солнечной активности — характерная особенность Солнца как звезды на протяжении всей своей эволюции. Этот вывод следует из наблюдений других звезд и из некоторых косвенных геологических данных. Например, анализ осадочных отложений, возраст которых оценивается в 680 млн. лет, показывает, что в темпах таяния ледника (связанного с упомянутыми отложениями) хорошо заметны периоды солнечной цикличности в 11 и 22 лет. Точно такие же периоды найдены при изучении скорости роста сталактитов в некоторых пещерах, чей возраст оценивается в несколько тысячелетий. Наконец, эти же периоды хорошо известны из вариаций наиболее употребительного интегрального индекса солнечной активности — чисел Вольфа (относительных чисел солнечных пятен).

Число Вольфа связано с количеством АО, наблюдаемых на всем солнечном диске в данные сутки. Надежные количественные данные о вариациях солнечной активности с использованием этого индекса имеются сейчас за интервал времени около трех столетий. Даже если добавить сюда косвенные данные о вариациях сол-

нечной активности, восходящие к VI в. до н. э., — упоминания в древних хрониках Китая и Кореи о наблюдениях особенно крупных пятен на Солнце невооруженным глазом, записи в классической латинской литературе о полярных сияниях и т. д., — все равно окажется, что информация о вариациях солнечной активности охватывает совершенно ничтожный интервал времени в шкале биологической эволюции.

Тем не менее важное значение имеют попытки определить масштабы изменений солнечной активности, охватывающих достаточно большие интервалы времени. Вот почему особый интерес вызвало обнаружение так называемого маундеровского минимума — длительного (в пять 11-летних циклов) минимума солнечной активности с почти полным отсутствием пятен, охватывающего всю вторую половину XVII в. Дальнейшие исследования привели в последние годы к обнаружению других подобных эпизодов в жизни Солнца. Они перечислены в табл. 1, из которой видно, что все найденные минимумы (названные в честь известных астрономов) не обнаруживают какой-либо периодичности в своем появлении и существенно различаются по своей продолжительности.

Таблица 1

Продолжительные минимумы солнечной активности

| Название | Годы (н. э.) | Продолжительность, годы |
|---------------|--------------|-------------------------|
| Ортовский | 1010—1050 | 40 |
| Вольфовский | 1282—1342 | 60* |
| Шпереровский | 1416—1534 | 118* |
| Маундеровский | 1654—1714 | 60 |

* Независимо найдены в старых хрониках.

Для нас же самое важное это то, что солнечная активность может изменяться не только в сторону понижения и иметь продолжительные минимумы (см. табл. 1), но и в сторону повышения. Так, например, в ряде источников (включая китайско-корейские хроники) определенно прослеживается так называемый средневековый (1150—1250 гг.) максимум с аномально высокой

солнечной активностью. Правда, реальность этого максимума должна еще подтвердиться дополнительными данными и прежде всего результатами измерений концентрации радиоактивного углерода C^{14} (именно этим методом и были обнаружены минимумы, перечисленные в табл. 1). Однако если данный максимум экстремально высокой солнечной активности действительно присутствовал в жизни нашего светила и если в будущем удастся обнаружить и другие подобные максимумы, то они послужат серьезным обоснованием концепции о существовании солнечных супервспышек.

Происходят ли на Солнце супервспышки? Сама идея о том, что на Солнце могут время от времени происходить хромосферные вспышки, во много раз более мощные, чем наблюдавшиеся до сих пор, была высказана польским физиком Д. Вдовчиком и его британским коллегой Э. Вольфендейлом в 1977 г. Согласно их исследованиям, вспышки энергосодержанием 10^{36} эрг могли бы иметь последствия катастрофического характера для биосферы. Энергия такой гигантской вспышки (супервспышки) в несколько тысяч раз больше энергии самой мощной из наблюдавшихся вспышек (23 февраля 1956 г.).

Отметим, однако, что воздействие супервспышки на Землю и биосферу должно отличаться от эффектов «обычной» мощной вспышки (балла 4) только количественно. Согласно проделанным расчетам наиболее важным следствием супервспышки станет повреждение озоносферы, которая, возможно, почти полностью разрушится и сможет восстановиться полностью лишь спустя 0,5—1 год после супервспышки. В течение же этого интервала времени все живые организмы, обитающие на земной поверхности и в приповерхностных слоях водных бассейнов, подвергнутся облучению солнечной ультрафиолетовой радиацией. Столь длительное облучение, несомненно, имело бы характер экологической катастрофы: гибель многих видов растений и животных, глубокие перестройки во всех экологических системах. Кроме того, временное отсутствие озонового экрана должно привести к уменьшению глобальной температуры приблизительно на $0,5^{\circ}\text{C}$ на поверхности Земли. Это отнюдь не пустяк — для ныне существующей климатической ситуации понижение глобальной температуры на 1°C соответствует началу оледенения.

Существуют и другие последствия супервспышки, ко-

торые, правда, не выглядят впечатляющими на фоне рассмотренных изменений, обусловленных повреждением озоносферы.

Уже давно было подмечено, что мощность самой сильной солнечной вспышки, зафиксированной в определенный 11-летний цикл, тем больше, чем выше уровень активности в эпоху максимума данного цикла. Упомянутая ранее рекордная по мощности вспышка 23 февраля 1956 г. произошла незадолго до самого сильного за всю историю наблюдений максимума солнечной активности со среднегодовым числом Вольфа 190. Как считает японский физик К. Сакурая, супервспышка, т. е. вспышка с энерговыделением 10^{36} эрг, может произойти, если максимум 11-летнего цикла характеризуется числом Вольфа около 400.

Однако есть ли возможность обнаружить эффект от супервспышки, произошедшей в прошлом, в том числе и весьма далеком прошлом?

Сейчас на этот вопрос можно вполне уверенно ответить положительно, поскольку имеются различные методики поиска следов в земных процессах как последствий космических взрывов. Например, как мы знаем, повреждение озоносферы при солнечной вспышке связано с образованием в атмосфере одного из окислов азота. При воздействии ионизирующего излучения на атмосферу в ней образуется еще и другой окисел азота — нитрат NO_3^- , который с атмосферными осадками выпадает на земную поверхность. А, как оказалось, тонкие годовые слои в колонках бурения древнего антарктического или гренландского льда сильно различаются по концентрации нитрата. И в редких случаях слои, характеризующиеся вполне определенным годом, характеризуются аномально высокой концентрацией нитрата. Естественно, в этом случае требуется специальный дополнительный анализ, ведь именно так может выглядеть эффект от далекой в прошлом мощной вспышки на Солнце.

Несколько лет назад анализ колонки бурения льда с американской антарктической станции Южный полюс привел к весьма интересным результатам. В этой колонке, охватывающей слои льда с XIII в., зарегистрировано четыре случая резкого увеличения концентрации нитрата. Первоначально, правда, предполагалось, что все найденные аномалии обусловлены другими явления-

ми — последствиями близких вспышек Сверхновых (об этом подробнее будет сказано позже). Однако затем обратили внимание на то, что две «спайки» с аномальным содержанием нитрата приходятся на упоминавшийся средневековый максимум солнечной активности (1150—1250 гг.), а остальные две относятся приблизительно к 1572 и 1604 гг., т. е. находятся между шпереровским и маундеровским минимумами солнечной активности (см. табл. 1). Это определенно указывает на то, что эти аномалии могут быть вызваны солнечными вспышками, имеющими, однако, балл 4 или 5, но не выше.

Таким образом, современные технические возможности позволяют искать возможные следы от «обычных» мощных вспышек на Солнце, происходивших в далеком прошлом. Причем есть методы такого поиска, способные обнаружить возможные следы мощных солнечных вспышек, случавшиеся и в очень отдаленные промежутки времени.

Например, ионы солнечного ветра, попадая в кристаллическую решетку минерала породы на лунной поверхности, прочно «застевают» там на десятки миллионов лет. И если известен возраст этой породы, то при анализе находящихся там ионов можно получить соответствующие сведения о параметрах солнечного ветра в определенную эпоху. Однако детальный анализ зерна лунного грунта показал, что никаких существенных изменений в интенсивности солнечного ветра за последние 400 млн. лет не происходило. Аналогичный вывод был сделан на основании исследований других образцов лунных пород. То, что при исследовании солнечного ветра от древнего Солнца найдены лишь сравнительно небольшие эволюционные изменения (современный солнечный ветер несколько слабее и с иным соотношением изотопов), делает проблематичным возможность существования длительных интервалов времени с высокой солнечной активностью.

Важнейший вид информации, на основании которого надежнее всего можно «обнаружить» супервспышку в прошлом, — это солнечные космические лучи. Анализируя вещество метеоритов и лунного грунта, «следы» от таких супервспышек можно обнаружить, измерив содержание определенных радиоактивных изотопов (Al^{26} , Mn^{53}) или плотность треков тяжелых ядер в некоторых минералах в зависимости от глубины треков в образце.

Однако поиски «следов» от супервспышек с помощью этих методов дали отрицательный результат. На протяжении последних нескольких миллионов лет интенсивность солнечных космических лучей заметно варьировала, но больших возрастных интензивности (более чем на 25%) не обнаружилось.

Исключением, возможно, является повышенная интенсивность солнечных космических лучей для промежутка времени, отстоящего от нас на несколько десятков тысяч лет. Пока неясно, является ли это возрастание интенсивности тем же самым, которое обнаружилось с помощью измерений содержания радиоактивного изотопа Be^{10} в ядрах льда Гренландии и Антарктиды. Этот изотоп, подобно C^{14} , образуется в земной атмосфере галактическими космическими лучами, и изучившие этот эффект А. Н. Константинов и Г. Е. Кочаров вовсе не склонны приписывать ему солнечное происхождение. Они датируют основной пик интензивности космических лучей эпохой, отстоящей от нас на 13—15 тыс. лет, а для этой эпохи нет каких-либо надежных данных, указывающих на повышение уровня солнечной активности. А ведь если бы рассматриваемый эффект был бы обусловлен супервспышкой, то уровень солнечной активности в этот период должен был бы быть исключительно высоким.

Возможно, выяснить происхождение возрастания космических лучей в данную эпоху поможет исследование вариаций содержания C^{14} в кольцах деревьев. Во всяком случае, следует пожелать успеха советскому физiku В. А. Дергачеву и его коллегам, занимающимся в нашей стране этими весьма трудоемкими исследованиями.

Следует сказать, что результаты радиоуглеродного метода с полной определенностью исключают появление на Солнце вспышек энергoвыделением более $5 \cdot 10^{33}$ эрг на протяжении от 5000 лет до н. э. и до наших дней. Таким образом, никаких супервспышек не происходило на Солнце за последние 7000 лет, а для более отдаленных от нас эпох имеется лишь одно свидетельство о возрастании интензивности космических лучей, но оно, может, и не связано с Солнцем. И поэтому, видимо, можно согласиться с американскими учеными Р. Лингерфельтером и Т. Хадсоном, которые, рассмотрев гипотезу о супервспышках, сделали заключение, что таких событий в истории Солнца, скорее всего, не происходит.

Хотя, конечно, этот вывод все же не окончательный, поскольку супервспышки на Солнце могут возникать раз в 10 млн. лет и реже, а для такой протяженной эпохи нет данных, с полным основанием исключающих существование супервспышек.

Загадка солнечного нейтрино и эпохи оледенения.

Читатель, вероятно, знает, какая драматическая ситуация сложилась в связи с измерением потока солнечного нейтрино. В эксперименте, реализованном американским физиком Р. Дэвисом и его сотрудниками на основании идеи советского физика Б. М. Понтекорво, было обнаружено, что величина потока нейтрино от Солнца в 3,2 раза меньше, чем предсказывает теория. Расхождение считается значительным, причем в настоящее время ему так и нет общепринятого объяснения.

Мы вынуждены затронуть эту в высшей степени интригующую проблему, поскольку одна из гипотез, объясняющих «дефицит» потока солнечного нейтрино, предсказывает циклические изменения светимости Солнца с одновременными крупномасштабными вариациями солнечной активности. Эта гипотеза предложена американским астрофизиком У. Фаулером¹ в 1972 г.; а затем разрабатывалась в ряде работ других авторов. Как считают некоторые специалисты, в том числе и весьма авторитетные, гипотеза Фаулера имеет много шансов оказаться верной хотя бы в общих чертах.

Суть этой гипотезы состоит в следующем. Как считает У. Фаулер, нейтринная светимость Солнца ниже ожидавшейся потому, что поток нейтрино периодически меняется в ходе эволюции Солнца. Причем сейчас измеряется как раз его величина, близкая к минимальной, но она достигнет нормального повышенного значения примерно через 5 млн. лет. Предполагается, что подобные интервалы понижения нейтринной светимости наступают периодически каждые 100 млн. лет, и такие циклы — характерная особенность эволюции звезд типа Солнца. Непосредственная причина уменьшения потока нейтрино заключается в понижении температуры солнечного ядра, что, в свою очередь, обусловлено попада-

¹ В конце 1983 г. ему была присуждена Нобелевская премия по физике за работы по теории происхождения химических элементов. Перевод его Нобелевской лекции «Экспериментальная и теоретическая ядерная астрофизика» издан в данной серии в 1985 г.

нием легкого изотопа гелия (He^3) в зону протекания ядерных реакций. А это происходит из-за наступающего время от времени «быстрого» перемешивания солнечных недр (в солнечном ядре мало изотопа He^3 , поскольку он там относительно быстро «выгорает»), что периодически случается и вследствие постепенно накапливающейся динамической неустойчивости, связанной с вращением Солнца.

Для нас самое важное здесь то, что каждое такое «быстрое» перемешивание (и соответствующее понижение нейтринного потока) сопровождается, как показали расчеты, довольно значительным понижением светимости Солнца (на несколько процентов)¹. Но кроме того, должно происходить и долговременное увеличение солнечной активности, в том числе и усиление солнечного ветра. Согласно гипотезе Фаулера, 2—5 млн. лет назад светимость Солнца была больше, по крайней мере, на несколько процентов.

Однако насколько все это соответствует данным науки?

Для ответа обратимся сначала к табл. 2, где представлены данные об эпохах глобального оледенения, хотя и в несколько упрощенном варианте². Из нее следует, наверное, несколько неожиданно для читателя, что мы сейчас живем в эпоху оледенения, которая началась около 3 млн. лет назад. Однако большинство специалистов полагает, что это именно так и что наш современный сравнительно мягкий климат представляет собой лишь кратковременный эпизод потепления. Существование таких небольших по амплитуде вариаций климата — характерная особенность многих, если не всех, глобальных оледенений, но причина подобных вариаций пока не ясна.

Несомненно, однако, что эти вариации содержат астрономическую составляющую, обусловленную достаточно простой причиной. Она была установлена в результате исследований, проведенных югославским метео-

¹ При изложении сценария «быстрого» перемешивания опущены многие детали, о которых см.: Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М., Наука, 1984.

² Дополнительные данные по различным вопросам палеоклиматологии см., например: Лосев К. С. Климат: вчера, сегодня... и завтра? Л. Гидрометеоздат, 1985.

Различные периоды оледенения Земли
(начало, окончание и время максимума даны
в миллионах лет, отсчитываемых от современной эпохи)

| Геологическая эпоха | Начало | Конец | Пик | Продолжительность |
|---------------------|--------|-------|-----|-------------------|
| Поздний кайнозой | 3 | ? | ? | Продолжается? |
| Поздний палеозой | 340 | 240 | 280 | 100 |
| Ордовик-силур | 460 | 410 | 425 | 50 |
| Поздний докембрий * | 680 | 670 | 610 | 110 |
| | 810 | 715 | 770 | 95 |
| | 950 | 900 | 940 | 50 |
| Гурон | 2340 | 1950 | ? | 390 |

* Не совсем ясно, насколько реальны границы периодов оледенения в этой геологической эпохе.

рологом М. Миланковичем. Когда тепловой бюджет Земли складывается «напряженно», становятся существенными и хорошо заметными даже небольшие (около 1%) вариации в приходе солнечной энергии, обусловленные периодическими изменениями элементов земной орбиты (эксцентриситета, долготы перигелия) и изменением наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики с периодом несколько десятков тысяч лет.

Во всяком случае, какова бы ни была причина интервала временного потепления, мы сейчас живем в эпоху очередного оледенения. Таким образом, первое предсказание гипотезы Фаулера оправдывается. Согласуется в общих чертах с этой гипотезой и циклический характер периодов оледенения и продолжительность каждого оледенения. Из табл. 2 следует, что за последний 1 млрд. лет средний интервал между пиками оледенений составляет около 200 млн. лет. Правда, отсутствие подобной цикличности в следующий, отстоящий от нашей эпохи, миллиард лет несколько озадачивает. Может, следы реально протекавших тогда периодов оледенения пока еще не обнаружены (что, вообще-то, маловероятно) или «быстрые» перемешивания тогда сопровождалось меньшими понижениями светимости? Или,

наконец, возможно, что в нашу земную климатическую «машину» «вмонтирован» глобальный кондиционер, успешно обрабатывавший эпизодические понижения светимости на фоне сниженной средней светимости Солнца?

Исследователи, занимающиеся проблемами палеоэкологии, имеют в своих рядах совсем немного сторонников астрофизических причин климатических изменений на Земле (в том числе и гипотезы Фаулера). Когда существует возможность выбора, они, естественно, обычно предпочитают в качестве объяснения какого-либо климатического эпизода конкретный наблюдаемый процесс (например, изменение концентрации углекислоты или дрейф континентов), а не умозрительную возможность, связанную с космическими воздействиями. И все же с развитием космических исследований положение в последние десятилетия существенно изменилось.

Дело в том, что развитие сравнительной планетологии позволяет теперь сравнивать эволюцию планет земной группы (Земли, Венеры, Марса и Меркурия), а следовательно, и отличать внешние причины от внутренних. Понижение светимости Солнца должно ведь сказываться одновременно (хотя и неодинаково) на планетах всей Солнечной системы. С этой точки зрения особый интерес представляет Марс — планета длительной и сложной эволюции, переживающая сейчас, как и Земля, эпоху оледенения.

Поверхность Марса обстоятельно изучена. Используя морфологический анализ и подсчет плотности покрытия поверхности малыми кратерами ударного происхождения, удалось наметить основные этапы истории поверхности планеты. Примечательная особенность марсианского ландшафта в некоторых районах — это наличие образований, подобных земным речным долинам. Подробное изучение этих форм рельефа на крупномасштабных фотографиях, полученных с помощью искусственных спутников Марса, показывает, что их происхождение обязано текущей когда-то воде. Следовательно, климат Марса мог когда-то быть теплее, чем сейчас, когда почти вся его гидросфера сосредоточена, видимо, в полярных областях в виде погребенного льда. Правда, среди специалистов, занимающихся палеоклиматом Марса, нет пока единого мнения по поводу того, была ли эпоха наличия жидкой воды на планете сравнительно длительным этапом в ее эволюции или относительно не-

большим эпизодом, повторяющимся несколько раз в ее истории¹.

Однако нас прежде всего интересует, происходили ли крупномасштабные вариации климата на Земле и на Марсе более или менее синхронно? Пока ответить на данный вопрос с полной определенностью нельзя. Отдельные исследователи (например, У. Хартман) считают, что некоторые признаки синхронных климатических изменений на обеих планетах существуют. Отмечается, в частности, что интервалы времени, когда на Марсе наблюдалась повышенная скорость эрозии рельефа (500 млн. лет назад) и формировались некоторые из упомянутых «речных долин» (около 150 млн. лет назад), совпадают с периодами отсутствия глобального оледенения на Земле. Во всяком случае, если придерживаться подобных соображений, то можно считать вполне реальными и вариации светимости Солнца, предсказанные У. Фаулером.

В то же время еще одно предсказание гипотезы о «быстром» перемешивании — усиление солнечного ветра (и повышение уровня солнечной активности) при пониженном потоке нейтрино — пока никак не подтверждается. Наоборот, как уже отмечалось, современный солнечный ветер имеет пониженную интенсивность на протяжении последних нескольких миллиардов лет. Поэтому не следует, видимо, спешить с выводами о том, что палеоклиматические данные подтверждают гипотезу Фаулера. Тем более что для объяснения «дефицита» нейтринного излучения Солнца и глобальных оледенений есть и другие возможности.

Подводя итог этого раздела, следует отметить, что древнее Солнце изучено еще очень мало, но все же, как представляется, оно не вносило особенно драматических моментов в историю Земли и эволюцию ее биосферы. Нет явных указаний и на то, что за последние 1,5—2 млрд. лет постепенное увеличение светимости влияло на нашу планету. Правда, если «быстрое» перемешивание солнечных недр и в самом деле имело место, то соответствующее ему понижение светимости могло бы вызвать глобальное оледенение на Земле с определенной цикличностью. Это характерно для последнего

¹ См.: Давыдов Б. Д. Современные представления о Марсе. М., Знание, 1978.

1 млрд. лет в истории Земли, но не обнаруживается в более отдаленные промежутки времени, для которых не зарегистрировано глобальных оледенений, повторяющихся через каждые 200 млн. лет.

Отметим еще, что солнечная активность варьирует в значительно больших пределах, чем это следует из короткого инструментального ряда наблюдений Солнца. Однако пока не найдено признаков того, чтобы уровень солнечной активности когда-либо достигал экстремально высоких значений. Нет указаний и на существование в прошлой истории Солнца супервспышек, способных оказать повреждающее воздействие на биосферу. И если они и происходят когда-нибудь на Солнце, то исключительно редко.

ВСПЫШКИ БЛИЗКИХ СВЕРХНОВЫХ

Перейдем теперь к рассмотрению того, как на биосферу могут воздействовать явления и процессы, происходящие вне пределов Солнечной системы. Несомненно, что одно из важнейших среди них — это вспышка близкой Сверхновой. В отличие от солнечных супервспышек, существование которых весьма проблематично, вспышки Сверхновых в нашей и других галактиках непосредственно наблюдаются на протяжении нескольких тысячелетий. Правда, последнюю из уверенно зарегистрированных в нашей Галактике вспышек Сверхновых наблюдал еще И. Кеплер (в 1604 г.), и жившим позднее астрономам с подобными наблюдениями не везет уже четвертую сотню лет. В результате им приходится довольствоваться изучением вспышек Сверхновых в других галактиках.

Вспышка Сверхновой — это взрыв звезды с суммарным энерговыделением около 10^{51} эрг. Если при этом жесткое волновое и корпускулярное ионизирующее излучение преобразуется только 0,1% всей энергии, то тогда такое событие в триллион раз будет превосходить солнечную супервспышку по своему экологическому эффекту. Следовательно, повреждающее воздействие на нашу среду обитания вспышка Сверхновой будет оказывать уже при расстоянии 5 пк, т. е. в миллион раз больше, чем расстояние Земли от Солнца (1 а. е.).

В качестве граничного расстояния до вспышки Сверхновой, когда ее воздействие неминуемо скажется на эко-

логическом равновесии биосферы, обычно выбирают несколько большее расстояние — 10 пк. В окрестностях Солнечной системы в сфере с таким радиусом находится не менее 300 звезд, ближайшая из которых (Проксима Центавра) расположена всего на расстоянии 1,3 пк от Солнца. Не подлежит сомнению, что за время эволюции биосферы Сверхновые несколько раз вспыхивали на расстоянии порядка 10 пк от Солнечной системы. На это впервые обратили внимание советские ученые В. И. Красовский и И. С. Шкловский. Их пионерская работа в 1957 г. и послужила началом для разработки проблемы «космического катастрофизма» в наше время.

Что происходит при вспышке близкой Сверхновой.

В последние десятилетия Сверхновые — предмет разносторонних и углубленных астрофизических исследований, затрагивающих самый широкий круг проблем. Многие из этих проблем сами по себе весьма интересны, но останутся, конечно же, за пределами нашего повествования¹. Здесь нас прежде всего интересуют два вопроса, касающиеся воздействия вспышки Сверхновой на биосферу: как часто вспыхивают Сверхновые в нашей Галактике (в частности, в ближайших окрестностях Солнечной системы) и какие именно из процессов, сопутствующих вспышке Сверхновой, оказывают непосредственное влияние на Землю и ее биосферу?

Для наблюдателя вспышка Сверхновой — это внезапное появление «звезды» на небе, иногда совершенно **исключительной яркости и исчезающей** спустя несколько месяцев. Поэтому для определения частоты появления таких событий, казалось бы, достаточно собрать хроникальные свидетельства о появлении (и исчезновении) ярких звезд за какой-нибудь подходящий интервал времени. Такая работа совместно с историками и филологами проводится уже многие десятилетия. И в настоящее время в различных древних хрониках и других источниках обнаружено свыше 100 упоминаний о появлении и наблюдении ярких объектов на небе.

Однако большинство этих событий, как оказалось, имеет иную природу (кометы, вспышки сравнительно близких Новых), и выделить из них действительно вспышки Сверхновых очень не просто. Тем не менее

¹ О Сверхновых, например, см.: Амнуэль П. Р. Сверхновые, М., Знание, 1981.

после тщательного анализа удалось установить, что за последнее тысячелетие наблюдалось по крайней мере 5 вспышек Сверхновых, в том числе и упомянутая ранее Сверхновая Кеплера. Конечно, это отнюдь не означает, что именно такое число вспышек Сверхновых произошло в Галактике за этот промежуток времени. Несмотря на гигантскую яркость вспышек Сверхновых в максимуме своего блеска (а они наблюдались и в дневное время), идущий от них свет поглощается в межзвездной среде столь сильно на низких галактических широтах (в галактической плоскости), что оптический феномен вспышки Сверхновой в отдаленных районах Галактики в этом случае и заметить невозможно. Учитывая этот эффект селекции, можно оценить частоту вспышек Сверхновых в Галактике как один раз в 30 лет.

Более надежную оценку этой величины можно получить из исследования остатков от звездного взрыва, которые просто называют остатками Сверхновых. Правда, в соответствии со сложившимися представлениями различают два типа Сверхновых. Для Сверхновых типа I остаток взрыва представляет собой стремительно расширяющуюся сферическую оболочку из высокотемпературной плазмы, заполненную космическими лучами. Многие исследователи полагают, что при вспышке Сверхновой типа I звезда (предсверхновая) полностью разрушается и никакого звездообразного остатка после взрыва не остается. Когда спустя несколько десятков тысяч лет сферическая оболочка газа расширится до размеров в несколько десятков парсек и сольется с межзвездной средой, от такого взрыва буквально и следа не останется.

Характерной особенностью остатков Сверхновых типа II является то, что помимо оболочки, иногда слабо выраженной, на месте взрыва остается еще и очень компактный объект — быстровращающаяся нейтронная звезда, или пульсар. Остатки Сверхновых типа II, имеющие в своем составе пульсары, называют плерионами, к ним относится знаменитая Крабовидная туманность — остаток вспышки Сверхновой 1054 г. Находящийся близ ее центра пульсар является наиболее изученным объектом этого класса, поскольку он наблюдается во всем диапазоне длин волн электромагнитного спектра — от метровых радиоволн до гамма-квантов экстремально высоких энергий (более 10^3 эрг).

Время жизни пульсара как наблюдаемого объекта много больше времени видимости оболочки, оставшейся после взрыва. Когда оболочка уже не видна, на месте плериона еще остается пульсар, окруженный радио- или рентгеновским гало. Правда, большинство наблюдаемых ныне радиопулсаров (их сейчас известно свыше 300) имеет более сложную и длительную эволюционную историю и непосредственно с остатками Сверхновых не связано.

Тщательный анализ газовых остатков Сверхновых, около 140 объектов (из них 10% плерионы), позволяет оценить частоту вспышек Сверхновых в Галактике как одно событие в 40 ± 20 лет (причем оба типа Сверхновых вспыхивают примерно поровну). Зная теперь среднюю частоту вспышек Сверхновых в Галактике, можно оценить, как часто Сверхновые вспыхивают на опасно близком для биосферы расстоянии, условно определенном ранее как 10 пк. Оказалось, что интересующие нас события происходят в среднем раз в 300 млн. лет.

Энергия вспышек Сверхновых черпается из запасов ядерной и гравитационной энергий предсверхновой. Исследование Сверхновых представляет особый интерес еще и потому, что они поставляют в межзвездную среду тяжелые химические элементы (мы здесь опять должны упомянуть У. Фаулера, поскольку детали этого процесса подробно описываются в его Нобелевской лекции). Между прочим, при анализе изотопного состава ряда химических элементов, содержащихся в веществе метеоритов, выяснилось, что вещество Солнечной системы, несомненно, содержит некоторую долю химических элементов, синтезированных всего за несколько миллионов лет до формирования твердых тел. Присутствие в «старом» веществе «добавки» более молодого возраста — однозначный признак вспышки очень близкой Сверхновой. Сейчас мало кто сомневается, что первая же вспышка близкой Сверхновой — это именно та, которая индуцировала коллапс газопылевого облака, приведший к образованию самой Солнечной системы со всеми ее планетами и другими малыми телами.

Большая доля энергии выделяется при вспышке Сверхновой на самом начальном этапе этого грандиозного явления в виде кратковременного (около 0,1 с) импульса нейтринного излучения. Однако поток нейтрино так слабо взаимодействует с веществом, что даже на

расстоянии порядка нескольких парсек он не вызывает на Земле каких-либо заметных эффектов. Для нашего рассмотрения более важен импульс жесткого рентгеновского излучения и гамма-квантов, с воздействием которого на атмосферу Земли мы уже знакомы при облучении последствий от солнечной супервспышки.

Вообще говоря, принципиальной разницы здесь не ожидается, и действует та же причинно-следственная цепочка событий. Сначала в атмосфере, на высотах порядка 20—30 км, происходит ионизация, затем — мгновенное образование окислов азота на всем «освещенном» Сверхновой полушарии Земли и почти полное исчезновение озоносферы (вначале на этом же полушарии, а потом повсеместно по всей атмосфере). Наконец, как следствие исчезновения озоносферы поток губительной для всего живого ультрафиолетовой радиации облучает всю поверхность Земли.

Однако импульс гамма-излучения при вспышке Сверхновой по своей амплитуде существенно больше, чем при солнечной супервспышке, больше и энергия фотонов, и поэтому концентрация окислов азота в атмосфере при прочих равных условиях больше при вспышке Сверхновой. Это обстоятельство приводит к дополнительным двум эффектам от вспышки Сверхновой: дополнительное охлаждение земной поверхности (молекулы NO_2 экранируют поверхность Земли от солнечной радиации в диапазоне длин волн 330—550 нм) и появление в почве (вместе с осадками) соединений азота, доступных усвоению растительными организмами (это эквивалентно глобальному внесению азотистых удобрений).

Имеются разные оценки продолжительности процесса, обуславливающего практически полное отсутствие озоносферы. Чаще всего называется величина порядка нескольких десятков суток, и этого, конечно, вполне достаточно, чтобы вызвать глубокие нарушения катастрофического характера в экосистемах, т. е. в сообществах живых организмов.

Лишь спустя несколько сотен лет при вспышке близкой Сверхновой будет зарегистрировано на Земле первое, сравнительно небольшое возрастание интенсивности космических лучей. Это появятся те ускоренные частицы, которые покинули расширяющуюся оболочку остатка Сверхновой и достигли Земли, диффундируя к ней че-

рез межзвездную среду. Интенсивность космических лучей будет медленно возрастать, достигнет максимума, а затем начнется постепенный спад, и все это займет около 1 тыс. лет. Сама оболочка вместе с оставшимися в ней космическими лучами приблизится к границам Солнечной системы только через несколько десятков тысяч лет.

Однако концентрация ускоренных частиц в расширяющейся оболочке во многие десятки, а возможно, и сотни раз выше, чем в окружающем пространстве. Поэтому заключительный этап воздействия вспышки близкой Сверхновой на Землю — это значительное (в десятки раз) увеличение интенсивности космических лучей на земной поверхности. Это второе возрастание интенсивности космических лучей должно быть и весьма продолжительным, не менее 10 тыс. лет.

Каковы же биологические последствия такого возрастания жесткой ионизирующей радиации?

Данные современной радиобиологии позволяют вполне определенно ответить на этот вопрос. Можно сразу сказать, что увеличение интенсивности космических лучей в несколько десятков раз не вызовет непосредственного радиационного поражения у обитателей биосферы. Тем не менее биологические последствия такого возрастания радиационного фона будут весьма существенны, но они имеют генетическую подоснову. Дело в том, что повышение фона ионизирующей радиации с неизбежностью вызывает увеличение частоты мутаций — изменений в наследственном веществе организмов. И если частота следования мутаций у данного вида достигнет некоторой критической величины, с повышением интенсивности ионизирующей радиации судьба этого вида предопределена — он неминуемо полностью вымрет.

Следует, однако, сказать, что различные виды организмов очень сильно отличаются по своей радиочувствительности (включая и влияние на наследственность). Поэтому радиационное воздействие на конкретную экосистему приведет к изменению ее видового состава, а глобальное повышение фона ионизирующей радиации должно сопровождаться изменением видового состава всей биосферы (быстрым и скачкообразным в эволюционной шкале времени). Но человек, между прочим,

не принадлежит к числу особо радиочувствительных организмов, и даже стократное увеличение фона ионизирующей радиации не грозит ему гибелью как вида.

Масштабы скачкообразных изменений видового состава биосферы существенно зависят от величины возрастания фона жесткой радиации. В связи с этим здесь уместно подчеркнуть, что все представленные ранее оценки являются усредненными. На самом деле увеличение интенсивности космических лучей при прохождении оболочки от Сверхновой через Солнечную систему может оказаться значительно выше в некоторые промежутки времени, поскольку концентрация космических лучей в отдельных волокнах такой оболочки выше среднего значения. Кроме того, рассматриваемые последствия, конечно, зависят и от расстояния до вспышки Сверхновой.

По этим причинам сами масштабы видовых изменений биосферы, или, как говорят теперь, великих вымираний видов, должны сильно различаться, если они причинно обусловлены вспышками близких Сверхновых. За все время эволюции биосферы могли произойти одно-два особо грандиозных вымираний видов, остальные же события такого рода должны быть значительно меньшего масштаба. В. И. Красовский и И. С. Щкловский в упоминавшейся ранее работе предположили, что с одной из особо мощных (близких) вспышек Сверхновых связано одно из крупнейших в земной истории великих вымираний видов — на границе мелового и третичного периодов, когда 66 млн. лет назад на Земле вымерли все гигантские рептилии.

Наконец, следует подчеркнуть, что очень важная для нашего рассмотрения величина частоты вспышек Сверхновых в ближних окрестностях Солнечной системы также является средней величиной. Дело в том, что весьма упрощенный метод оценки этой величины не учитывал некоторых существенных деталей. Например, звезды, вспыхивающие (взрывающиеся) как Сверхновая типа II, располагаются в спиральных рукавах Галактики, и поэтому вероятность вспышки близкой такой Сверхновой отличается от нуля, если только Солнечная система в своем движении в Галактике пересекает спиральный рукав. А это, как указывают советские астрофизики Л. С. Марочник и Л. М. Мухин, происходит, видимо,

очень редко, если Солнце в Галактике располагается очень близко к зоне коротации¹.

Если учесть данное обстоятельство, то вполне возможно, что в звездных окрестностях Солнца могут вспыхивать только Сверхновые типа I, и тогда вероятность вспышки близкой Сверхновой станет вдвое меньше приводившейся ранее. Правда, сказанное мало что меняет в основных выводах, рассматриваемых в этой брошюре, но хорошо иллюстрирует сложность проблемы и недостаточную ее разработанность.

Поиски «следов» от вспышек близких Сверхновых. Как мы теперь знаем, вспышка близкой Сверхновой, т. е. на расстоянии 10 пк и менее (еще раз напомним, что этот рубеж весьма условный), — это сравнительно редкое явление, происходящее не чаще, чем один раз в 300 млн. лет, а может быть, и в 600 млн. лет. Более далекие вспышки не вызывают экологических катастроф, но, разумеется, и они должны оставлять определенные следы на Земле, тем более что такие события происходят гораздо чаще. Вот почему в последние десятилетия в научной литературе, и весьма далекой от астрофизики, нередко тоже можно встретить термин «Сверхновая», поскольку эффектами от вспышек Сверхновых стали интересоваться и ботаники, и геохимики, и геофизики, и палеонтологи.

Однако прежде чем приступить к предварительным результатам этих поисков, остановимся сначала на результатах астрофизических исследований той же проблемы. Отметим, что астрономически наблюдаемые следы вспышек недавних и близких Сверхновых — это либо расширяющаяся оболочка (она может быть замечена, если ее возраст не более десятков тысяч лет), либо пульсар (он может наблюдаться спустя миллионы лет после вспышки), но в последнем случае необходимы свидетельства, что данный пульсар входит (или входил) в состав плериона.

Уже многие годы астрономы пытаются понять природу одной удивительной особенности в распределении галактического радиоизлучения по небу. Это относительно яркая узкая полоска радиоизлучения, почти пер-

¹ В этой зоне спиральные рукава и близкие к ним звезды вращаются относительно галактического центра примерно с одной и той же угловой скоростью.

пендикулярная экватору Галактики. Она получила название шпура. Удалось установить, что шпур на самом деле представляет собой гигантскую замкнутую петлю, образуя на небесной сфере кольцо с угловым диаметром около 100° . В качестве одной из гипотез, объясняющих природу шпура, предполагается, что в действительности мы наблюдаем оболочку, оставшуюся от вспышки Сверхновой типа I.

Но если принять это предположение, необходимо заключить, что вспышка Сверхновой, ответственная за образование этой оболочки, произошла довольно близко от нас, на расстоянии «всего» 25 пк. Возраст этого остатка Сверхновой, оцениваемый очень приблизительно, составляет около 20 тыс. лет. Именно столько лет назад наши далекие предки (они тогда уже наверняка внимательно следили за небом) должны были заметить на небе внезапное появление «звезды», яркость которой в 100 раз превосходила яркость Луны в полнолунии.

Если рассматриваемый шпур является остатком Сверхновой, то следует попытаться обнаружить параллельные эффекты от импульса гамма- и рентгеновского излучений и первого (кратковременного) возрастания интенсивности космических лучей. Вариации интенсивности галактических космических лучей, происходившие некогда в прошлом, изучают путем измерений содержания радиоактивных и стабильных ядер в веществе метеоритов и лунного грунта. Как сейчас установлено, интенсивность фона галактических космических лучей за последние несколько миллионов лет почти непрерывно изменялась, отклоняясь от среднего значения на 25—50%. Однако достаточно подробной, с необходимым временным разрешением, зависимости изменений интенсивности со временем пока еще нет.

На отрезках времени порядка нескольких десятков тысяч лет подробная информация о вариациях интенсивности галактических космических лучей может быть получена с помощью другой методики и более быстро — измеряя концентрацию изотопа Be^{10} в полярных льдах, о чем уже говорилось ранее. Первые результаты подобных измерений, полученные А. Н. Константиновым и Г. Е. Кочаровым, указывают на существование двух пиков интенсивности: первый отстоит по времени от нас на 9—11 тыс. лет, второй (с большей амплитудой) — на 13—15 тыс. лет. Не исключено, что этот последний

и есть искомый «след» давней вспышки, ответственной за образование шпура (правда, если возраст остатка Сверхновой несколько меньше, чем приводившаяся ранее оценка). Природа первого пика остается неясной, но о нем мы еще расскажем позже.

Что же касается поиска «следов» от импульса гамма- и рентгеновского излучений, то в настоящее время ведется разработка методики такого поиска, осуществляемая на первых порах на материале о регистрации вспышек Сверхновых в древних хрониках. Ранее упоминалась одна из таких методик, основанная на исследованиях аномального содержания нитрата в годовых слоях льда Гренландии и Антарктиды. Как отмечалось, обнаруженные в настоящее время аномалии, видимо, имеют солнечное происхождение (вызваны мощными солнечными вспышками). Во всяком случае, никакой аномально большой концентрации нитрата не зарегистрировано даже в слое, соответствующем году наиболее близкой к нам вспышки Сверхновой (1006 г.).

Возможно, более перспективной методикой здесь является измерение эффекта термолюминесценции минеральной составляющей в донных осадках. Идея данного метода проста. В атмосфере всегда содержится минеральная пыль, причем неизменно поддерживается динамическое равновесие: определенное количество пыли постоянно осаждается на дне пресноводных и океанических водных бассейнов, а в атмосферу взамен выпавшей пыли доставляются ветрами ее новые порции. Совокупность таких пылевых микрочастиц в донных осадках представляет собой природный дозиметр ионизирующей радиации.

Все дело в том, что если нагреть микрокристаллики выпавшей из атмосферы пыли до определенной температуры, то обнаружится слабое свечение. А интенсивность этого термолюминесцентного свечения (и это самое главное) пропорциональна дозе ионизирующей радиации, полученной микрокристалликами пыли, когда они находились в воздухе. Исследование донных осадков обычно проводят путем послойного изучения колонки бурения. Если возраст какого-либо слоя колонки известен, то путем измерения термолюминесценции от пылевого компонента этого слоя можно определить интенсивность космических лучей в соответствующую эпоху.

Так, например, этим методом с полной определен-

ностью обнаруживается известный нам маундеровский минимум солнечной активности (отметим, что в минимум солнечной активности интенсивность галактических космических лучей возрастает). А самое главное — исследование термолюминесцентным методом колонки осадков, взятой в Тирренском море близ берегов Италии и охватывающей интервал времени с VII в. по начало XVII в., обнаружило заметные пики для всех вспышек Сверхновых, происходивших за последнее тысячелетие и зарегистрированных в исторических документах. Правда, требуется провести исследования и других образцов грунта, чтобы этот результат был отнесен к ряду установленных фактов.

Однако отметим, что этим методом пока не был выявлен пик от вспышки Сверхновой, ответственной за появление шпура, а ведь этот пик должен быть весьма значительным. Конечно же, такие исследования хотя и довольно просты в своей принципиальной основе, но они очень сложны и трудоемки в техническом исполнении, а, кроме того, начаты сравнительно недавно, и поэтому промежуток времени 10—20 тыс. лет назад пока не изучался.

Термолюминесцентный метод пока ничего не дал и относительно более недавней вспышки Сверхновой, случившейся около 10—11 тыс. лет назад и о которой также имеется определенное астрофизическое свидетельство. Остаток этой Сверхновой в созвездии Парусов (в Южном полушарии) обстоятельно изучался астрофизиками в последние десятилетия. Но в отличие от шпура это бесспорный остаток типа плериона, наблюдаемый в радио- и рентгеновском диапазонах и имеющий вид не совсем правильного кольца с угловым диаметром около 5° . Близ центра расширяющейся оболочки находится пульсар, возраст которого оценивается в 11,3 тыс. лет.

Данный объект находится на расстоянии 500 пк от Солнечной системы. Это уже вполне безопасное расстояние для биосферы, но, однако, достаточно близкое, чтобы обнаружить палеоэкологические эффекты, вызываемые импульсом гамма- и рентгеновской радиации от вспышки Сверхновой: аномальное содержание радиоуглерода или нитрата, а также термолюминесцентный пик. Пока соответствующих данных нет, и все же один важный признак импульсного ионизирующего воздействия на атмосферу Земли как раз в это время, пожа-

луй, определенно имеется. Как уже отмечалось, при подобном воздействии в почву поступает за относительно короткий промежуток времени аномально большое количество доступного для усвоения азота. В растительных экосистемах это должно сопровождаться резким возрастанием продуктивности, что в принципе вполне можно обнаружить. И, видимо, такие признаки внесения азотистых соединений найдены сейчас в озерных экосистемах всех континентов.

Возраст этого довольно тонкого слоя (легко обнаруживаемого по очень темной окраске) был определен с помощью радиоуглеродного метода и составляет около 12 тыс. лет. Эта величина хорошо согласуется со временем вспышки Сверхновой, определяемым из возраста пульсара и анализа скорости расширения оболочки. Конечно же, этот результат был бы весьма убедительным, если бы удалось получить свидетельство в пользу кратковременного глобального похолодания в это время. К сожалению, надежных данных здесь нет, хотя температура Северного полушария 11—10 тыс. лет до н. э., несомненно, имела несколько более низкое значение.

Ждет своего подтверждения и аномальное повышение концентрации атмосферного радиоуглерода, соответствующее примерно этому же промежутку времени. Хотя радиоактивный изотоп углерода C^{14} образуется в атмосфере главным образом галактическими космическими лучами, гамма-импульс от вспышки Сверхновой, если она произошла на расстоянии не более нескольких сотен парсек от Солнечной системы, должен привести к дополнительному возрастанию концентрации этого изотопа. На эту возможность указали еще в 60-х годах советские ученые Б. П. Константинов и Г. Е. Кочаров. Такое кратковременное увеличение концентрации радиоуглерода зарегистрировано, и оно приходится на время 10,5—9,5 тыс. лет до н. э. Однако только после дополнительных исследований можно будет сказать, имеет ли этот результат отношение к вспышке Сверхновой в созвездии Парусов.

Итак, астрофизические наблюдения позволяют надежно идентифицировать след вспышки Сверхновой, если это событие произошло не позже характерного времени жизни оболочки, оставшейся от взрыва звезды (не более нескольких сотен тысяч лет). Для более отдаленных от нас эпох (порядка 1 млн. лет) вспышку

Сверхновой еще можно «проследить», если после нее остался пульсар. Если вспышка Сверхновой произошла около нескольких миллионов лет назад и более, то в этом случае при достаточной близости этого события к Солнечной системе «следы» вспышки можно обнаружить лишь при исследовании возможных палеоэкологических ее последствий, используя методики, разработанные сейчас в геофизике, геохимии и метеоритике.

По мнению ряда ученых, 15—50 тыс. лет назад довольно близко от Солнечной системы (20—30 пк) вспыхнула Сверхновая типа I. Решающих доказательств этому предположению следует ждать прежде всего из палеоэкологических исследований и данных метеоритики, которые, надо надеяться, скоро появятся. Если мы хотим углубиться в земную историю еще дальше, где еще можно попытаться обнаружить последствия только от совсем близких вспышек Сверхновых (не далее 10 пк), необходимо обратиться к рассмотрению эволюционных кризисов биосферы, связанных с этими вспышками, т. е. согласно рассмотренной ранее гипотезе к скачкообразным изменениям видового состояния биосферы — великим вымираниям видов.

Очевидно, необходимо сразу же предостеречь читателя от буквального понимания, скажем, выражения: «Быстрые вымирания большого числа видов...». Уже упоминавшееся такое вымирание видов в конце мелового периода 66 млн. лет назад (обозначаемое обычно как С — Т), по мнению большинства ученых, определенно не было мгновенным: кризисный период длился, возможно, не менее 1 млн. лет. Именно в таком смысле следует понимать термин «скачкообразное вымирание».

За указанный интервал времени палеобиосфера, как полагают, утратила около 25% семейств живых организмов. Однако при этом исчезнувшие виды относились в основном к сухопутной фауне и флоре, причем многие виды, в том числе и рептилии, благополучно миновали кризисную эпоху. «Повреждение» морской фауны в это время было менее глубоким. Зато в другую подобную кризисную эпоху, на границе пермского и триасового периодов 245 млн. лет назад (R—T), исчезли в основном морские виды. Таким образом, эволюционный кризис — великое вымирание видов — явление, несомненно, сложное и многообразное.

Вместе с тем эта история биосферы поражает вооб-

ражение, заставляет глубоко переживать ощущение тайны, бросает вызов человеческой пронизательности при попытках разгадать ее причины. Почему, в самом деле, динозавры, занимавшие господствующее положение в тогдашней биосфере в течение целых 100 млн. лет, вдруг утратили свои позиции и исчезли?

О причинах великих вымираний видов существует огромная литература, высказано множество идей. Не вызывает сомнения, что скачкообразное изменение видового состава биосферы должно быть связано, вообще говоря, с резкими и достаточно глубокими изменениями экологических условий. Но какими именно? Чтобы разобраться в возможных причинах появления кризисных эпох в эволюции биосферы, важно получить некоторое представление об общих свойствах таких промежуточных времени, о наиболее характерных общих особенностях самих кризисных эпох.

При этом возникает ряд вопросов. По какому закону распределены эти эпохи во временной шкале? Каково распределение таких событий по масштабам своего проявления («амплитудам»)? Насколько хорошо коррелируют они с определенными геофизическими и геологическими изменениями (тектоническая активность, инверсии геомагнитного поля, палеоклимат)? Правоммерно ли считать эти эпизоды однородным рядом событий, или они отличаются друг от друга в такой степени, что не могут быть обусловлены какой-то одной причиной (или однотипной совокупностью причин)?

Во всяком случае, если эволюционные кризисные эпохи связаны со вспышками близких Сверхновых, то основные свойства рассматриваемых эпизодов должны подчиняться определенным закономерностям. Однако ответить на все поставленные вопросы, опираясь на гипотезу о вспышках близких Сверхновых, в настоящее время довольно трудно, а иногда и невозможно. И причина здесь заключается в особой специфике палеонтологических данных. Согласно современным оценкам, сейчас известно всего 2% всех видов древних животных, имевших твердые части тела (мягкотелые организмы практически неизвестны вообще). И эта оценка некоторым ученым представляется еще и существенно завышенной. Вся биология тех же динозавров изучена на основании анализа всего лишь 5000 скелетов этих животных, найденных за 100 лет палеонтологических ис-

следований. Кажется настоящим чудом, что возможно получить целостную картину истории жизни на Земле с использованием столь скромных данных.

Очевидно, что интересующие нас общие свойства кризисных эпох в эволюции биосферы остаются пока неизвестными, и даже само выделение таких эпох не может быть проведено вполне однозначно. Но все же обратимся теперь к имеющимся конкретным данным о вымираниях видов. Естественно, это только некоторая хронологическая канва истории биосферы, и чтобы освежить в памяти саму историю, читателю придется обратиться к другим публикациям¹.

Недавно американскими учеными Д. Раупом и Дж. Сепкоски был составлен подробный «каталог» таких эволюционных кризисов. Они использовали очень большой массив данных по морским ископаемым организмам и подсчитали «скорость» исчезновения семейств этих организмов. Оказалось, что на протяжении отрезка 600 млн. лет имеется некоторая «фоновая» скорость исчезновения семейств, мало меняющаяся за все это время и составляющая в среднем 3—5 исчезающих семейств на 1 млн. лет.

На этом фоне заметно выделяются интересующие нас массовые вымирания, когда за 1 млн. лет исчезает примерно 15—20 семейств (приблизительно до 1200 видов). Таких эпизодов насчитывается всего пять. Кроме того, имеется еще примерно столько же менее заметных критических интервалов. Несколько более подробная картина получена за последние 250 млн. лет. Даты кризисных интервалов (миллионы лет назад) за этот отрезок времени приведены в табл. 3.

Вернемся, однако, к биологическим последствиям от вспышек близких Сверхновых. Рассматривая табл. 3, можно обратить внимание на то, что эпизоды великих (массовых) вымираний видов отстоят друг от друга по времени на 17—53 млн. лет. Характерное время между воздействиями от вспышек близких Сверхновых заметно больше — не менее 100 млн. лет. Следовательно, было бы по меньшей мере рискованно предположить, что каждой дате в табл. 3 соответствует вспышка Сверхновой на опасном для биосферы расстоянии менее 10 пк. И как будет ясно из дальнейшего, эпизоды, отмеченные

¹ См., например: Коуэн Р. История жизни. Киев, Наукова думка, 1982.

**Кризисные эпизоды в эволюции биосферы и моменты
прохождения Солнечной системы через плоскость Галактики**

| Геологическая эра | Кризисный эпизод | Прохождение Солнечной системы через галактическую плоскость |
|-------------------|------------------|---|
| Каннозой | 11 | ~ 0 |
| | 37* | 31 |
| Мезозой | 66* (C—T) | 64 |
| | 91 | 100 |
| | 144 | 135 |
| | 176 | 166 |
| | 193 | 197 |
| | 217 | 227 |
| | 245* (R—T) | 259 |

в табл. 3 звездочкой, скорее всего, не связаны со вспышками близких Сверхновых.

Наконец, очень важно, что ряд цифр из табл. 3 указывает на существование периода (или цикла) длительностью около 30 млн. лет. Величина периода находится с некоторой ошибкой (в оригинальных данных Раупа — Сепкоски период составляет 26 млн. лет), но само по себе наличие периода следует считать вполне обоснованным. Однако если признать этот результат убедительным, то придется заключить, что экологические последствия от вспышек близких Сверхновых вносят в рассматриваемый список биологических катастроф небольшой вклад, поскольку нет оснований ожидать ярко выраженной цикличности в частоте вспышек близких Сверхновых.

Все, о чем здесь говорилось, надеемся, поможет читателю и к данному заключению отнестись с должной осторожностью. В окончательной формулировке это заключение следует сделать следующим образом. Нет сомнений, что вспышка близкой Сверхновой (на расстоянии не далее 10 пк) должна сопровождаться серьезными экологическими последствиями, включая, видимо, и такие явления, как великое вымирание видов. Такие события, однако, должны быть очень редкими, поскольку за последние 250 млн. лет кризисные эпизоды в эволюции биосферы обусловлены в основном какой-то другой причиной, обнаруживающей периодичность с длительностью периода (цикла) около 30 млн. лет.

Прежде чем перейти к рассмотрению подобных циклических явлений (в том числе и космических воздействий), которые могли бы послужить основанием для объяснения обсуждавшихся кризисных эпизодов в истории биосферы, уместно сделать одно замечание. Хотелось бы обратить внимание читателя на следующее удивительное обстоятельство. Вспышка близкой Сверхновой, образовавшей шпур (событие, вообще говоря, довольно редкое — раз за 100 млн. лет) приходится на сравнительно недавний промежуток времени. Более того, эпоха, когда вспыхнула Сверхновая, примерно соответствует возрасту древнейших останков «человека разумного» (35—60 тыс. лет назад).

Отметим, что ряд антропологов считают, что появление современного типа человека связано с явлением мутаций. А импульс гамма- и рентгеновского излучения от вспышки близкой Сверхновой должен, как известно, сопровождаться кратковременным (в течение года) увеличением числа мутаций. Ведь при этом на поверхности Земли резко возрастает поток ультрафиолетового излучения, которое само по себе является мутагенным агентом, инициирующим, к тому же, появление других мутагенных агентов. Вот почему идея о том, что возникновение современного человека (в том числе и человеческой цивилизации)¹ связано со вспышкой близкой Сверхновой, не кажется более радикальной, чем другие обсуждавшиеся здесь гипотезы.

Мы уже упоминали о том, что со вспышкой близкой Сверхновой связано образование Солнечной системы. В научной литературе анализировалось предположение и о том, что со вспышкой близкой Сверхновой связано происхождение жизни. Если же и происхождение современного типа человека с его цивилизацией тоже связано со вспышкой близкой Сверхновой, то легко понять усилия ученых, затрачивающих в последнее время много труда и вдохновения на проблему Сверхновых.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОБЛАКА И ЗЕМНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Присутствие заметного периодического компонента в вымираниях видов (см. табл. 3) до некоторой степени облегчает поиск причины (или совокупности причин)

¹ См.: Иванов В. В. История славянских и балканских названий металлов. М., Наука, 1983, с. 151.

нарушений экологического равновесия на Земле в прошлые эпохи. Необходимо лишь рассматривать различные явления, обнаруживающие подобную цикличность. При этом нет необходимости апеллировать к космическому вмешательству, ведь давно известно, что многие крупномасштабные геологические явления протекают циклически. Очевидно, что с этими же периодами должны меняться в какой-то степени и экологические условия.

При сопоставлении геологических данных с эпохами великих вымираний видов (см. табл. 3) следует, помимо совпадений значений периодов, обращать внимание и на характер экологических изменений (их масштабы) и, разумеется, на совпадение соответствующих явлений по фазе. Такое сравнение, как правило, не позволяет принять или полностью исключить то или иное явление как действующую причину кризиса, но способствует пониманию того, какое из подобных явлений заслуживает особого внимания, а какое можно считать несущественным.

Глобальная вулканическая активность (о ней судят по объему вулканических пород) обнаруживает период около 250 млн. лет, имеющий многочисленные гармоника. Последние по времени пики вулканической активности — 42, 15 и 2 млн. лет назад — определенно не совпадают со временем кризисных эпох, так что это явление представляется маловероятной причиной вымирания видов.

Уже давно было замечено, что некоторые из эпизодов, приведенных в табл. 3, как будто довольно точно совпадают с временами инверсий геомагнитного поля. Например, часто упоминаемое здесь вымирание динозавров (С — Т) совпадает по времени с так называемым смешанным магнитным интервалом, когда инверсии геомагнитного поля часто следовали одна за другой. Распределение смен полярностей по времени вообще очень сложно: присутствуют одновременно много периодов, в том числе и период 32—34 млн. лет, что довольно близко к интересующей нас величине. Кроме того, выдвижению инверсий геомагнитного поля как ведущей причине вымираний видов мешает не только то, что имеются кризисные эпохи, не совпадающие, видимо, с такими инверсиями, но прежде всего и отсутствие ясного «механизма», который мог бы причинно связать оба этих явления.

При исчезновении геомагнитного поля в момент сме-

ны его полярности (продолжительность этого «момента» несколько тысячелетий) не должно, вроде бы, происходить особо глубоких экологических нарушений (в частности, увеличение интенсивности космических лучей в данный момент — явление экологически незначимое). Правда, при этом кардинальным изменениям подвергается естественное электромагнитное поле Земли — фактор, значение которого мало еще изучено и, возможно, серьезно недооценивается. Авторы этой брошюры в свое время отмечали, что резкое изменение электромагнитного фона может в принципе по возрастанию числа мутаций стать эквивалентным значительному увеличению интенсивности ионизирующей радиации¹. Однако до сих пор неясно, в какой мере реализуется эта гипотетическая возможность.

Периоды около 31—33 млн. лет, несомненно, присутствуют на протяжении последних 600 млн. лет в тектонической активности и сопутствующих ей глобальных понижениях уровня моря. Можно заметить, однако, что один из самых крупных кризисных периодов (С — Т) приходится на спокойную в тектоническом отношении эпоху, а ближайшие к нам эпизоды с вымиранием видов (37 и 11 млн. лет назад) не сопровождались крупными палеогеографическими изменениями. Самая же главная причина, по которой эти тесно связанные геологические процессы не могут рассматриваться в качестве явлений, вызывающих эволюционные кризисы в биосфере, состоит в том, что природа и происхождение обсуждаемой цикличности остаются неизвестными.

Создается впечатление, что великие вымирания видов и в некоторой степени коррелирующие с ними глобальные геофизические процессы связаны с какой-то общей причиной. Многие крупные геологи придерживались именно такой точки зрения, полагая, что эта причина является космической природы. Характерно, например, название одной из статей, посвященной обсуждению периодичности глобальных геологических явлений: «Галактическая цикличность геологических процессов»².

Упомянутый здесь неоднократно период около

¹ См.: Космос и эволюция организмов. М., Ин-т палеонтологии АН СССР, 1976, с. 159.

² Багдасаров Ю. А. Галактическая цикличность геологических процессов.— Природа, 1981, № 8.

30 млн. лет хорошо известен в астрофизике: именно с этим периодом связано движение Солнца (и Солнечной системы) в Галактике. На возможную связь этого цикла с земными явлениями впервые указал советский геолог Г. Ф. Лунгерсгаузен. Рассмотрим теперь, с какими же экологическими последствиями он может быть связан.

Положение Солнца в Галактике. Молекулярные облака. Подобно всем звездам нашей Галактики Солнце вращается вокруг галактического центра. Эта орбита Солнца хорошо известна: мы двигаемся на расстоянии около 10 кпк от центра по слегка вытянутой орбите, совершая один оборот за 233 млн. лет. Обращением вокруг галактического центра движение Солнца, однако, не исчерпывается. Наше светило совершает также одновременно колебательные движения относительно галактической плоскости.

Причину этих колебательных движений нетрудно понять. Основная часть массы нашей Галактики, как известно, сосредоточена в относительно тонком диске. Представим себе, что в некоторый момент Солнце находится выше этого диска. Тогда гравитационное поле диска будет притягивать Солнце, и, набирая скорость, оно станет «падать» на диск и по инерции его «проскакать». По другую сторону диска оно будет двигаться, удаляясь от него, и до тех пор, пока возвращающая сила гравитационного поля не заставит Солнце двигаться в обратную сторону, вновь «падать» на диск, но с другой стороны. Ситуация вполне аналогична движению гимнаста на батуте (роль гравитационного поля при обратном движении выполняет здесь упругое натяжение сетки).

Эти осцилляции поддаются количественному расчету. Амплитуда колебаний (максимальное удаление от галактической плоскости) получается при этом в несколько десятков парсек. Период составляет около 62 млн. лет, т. е. каждый 31 млн. лет Солнце пересекает плоскость Галактики. Величина периода у разных авторов несколько различается, а приведенная здесь величина получена недавно американским ученым Дж. Бакалом.

Сейчас мы находимся на расстоянии около 10 пк от геометрической плоскости диска. Это значение расстояния фиксирует фазу колебаний, и оно известно с погрешностью порядка самой этой величины. Зная фазу и период, нетрудно рассчитать моменты пересечения галак-

тической плоскости Солнечной системой. Соответствующие этим расчетам значения (в миллионах лет назад) были представлены во второй колонке табл. 3, и их можно сравнить с моментами наступления кризисных эпох. В общем случае имеет место впечатляющее согласие. Похоже, что эволюционные кризисы наступают всякий раз, когда мы пересекаем галактическую плоскость.

Все это можно было бы рассматривать как забавное совпадение, если бы Солнце двигалось в пустом пространстве, а именно так представляли себе межзвездную среду полвека назад. На самом же деле, как мы теперь хорошо знаем, звезды и Солнце движутся в реальной физической среде, наделенной многими свойствами. Эта среда в некоторых случаях не может не оказывать воздействия на биосферу. Что же представляет собой межзвездная среда? Как меняются ее основные свойства при движении Солнца в Галактике?

Подавляющее большинство звездного населения Галактики находится в газовом диске толщиной немногим более 200 пк и со средней концентрацией вещества около 1 см^{-3} для атома водорода (наиболее распространенного химического элемента во Вселенной). В пределах этого диска газ распределен очень неравномерно и сильно отличается по своим параметрам при переходе от одной пространственной области к другой. В частности, заметную долю составляют области, заполненные очень горячим и крайне разреженным газом (средняя концентрация частиц $10^{-2} - 10^{-3} \text{ см}^{-3}$) — это слившиеся (и неразличимые) очень старые оболочки Сверхновых, образующие в диске своего рода «тоннели».

Мы сейчас не будем задерживаться на областях ионизованного водорода, имеющих облачную структуру. Наше внимание прежде всего обратим к гигантским газопылевым комплексам, интенсивно исследуемым в последние годы, поскольку именно в них, видимо, происходит современное звездообразование. На эти газопылевые агрегаты приходится примерно половина всей массы газа в Галактике, и они простираются иногда на многие десятки парсек, тяготея, видимо, к спиральным рукавам. Средняя концентрация частиц в них составляет около 300 см^{-3} , причем подавляющая часть этих частиц — не атомы, а молекулы водорода.

Помимо молекул водорода здесь обнаружено присут-

ствие молекул нескольких десятков других химических соединений, относимых обычно к органическим. При этом, наряду с простыми соединениями (такими, как аммиак), найдены и относительно сложные молекулы (например, спирты). Важно отметить, что плотность газа и пыли в пределах комплекса сильно меняется, а их пространственное распределение обнаруживает всю ту же облачную, клочковатую структуру. Известен, например, случай (комплекс в созвездии Ориона), когда оценка концентрации молекул водорода для одной из его областей дала величину около 10^7 см^{-3} .

В астрономической шкале времени молекулярные облака и комплексы, в которые они объединены, гигантские молекулярные комплексы — это эфемерные образования. Имеются различные оценки их возраста, но все они группируются около значения 100 млн. лет. Важнейшие для нас параметры, касающиеся молекулярных облаков и их комплексов, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные характеристики гигантских молекулярных комплексов (ГМК) и их составляющих облаков

| Характеристики | ГМК | Облака* |
|---|----------------|---------|
| Линейный размер, пк | 40 | 1 |
| Концентрация молекул водорода, см^{-3} | $3 \cdot 10^2$ | 10^4 |
| Масса, в массах Солнца | $5 \cdot 10^5$ | 10^2 |
| Скорость движения газа, км/с | 10 | — |
| Количество подобных объектов в Галактике | $4 \cdot 10^3$ | $10^6?$ |

* Для молекулярных облаков приведены типичные параметры, а для молекулярных комплексов — усредненные.

Рассматриваемые газопылевые ГМК образуют, как говорят, очень плоскую подсистему: средняя толщина галактического диска, где они находятся, не превышает 100 пк. Солнце при своих осциллирующих движениях то поднимается выше этого диска, то оказывается ниже его, пересекая дважды за период осцилляций слой с повышенной плотностью вещества.

Руководствуясь табл. 4, можно подсчитать, что при

равномерном распределении всех ГМК по галактической плоскости в пределах орбиты Солнца (радиусом 10 кпк) они покроют около 1% всей площади диска. Следовательно, Солнце, находясь вблизи галактической плоскости, должно проводить внутри ГМК около 1% всего времени пребывания в диске. На самом деле эта оценка, конечно, не вполне конкретна, в частности, из-за того, что комплексы распределены в диске неравномерно. Более точный расчет показывает, что Солнце попадает в пределы ГМК с высокой концентрацией молекул водорода далеко не в каждое свое прохождение через галактическую плоскость. Если же такое попадание происходит, то продолжительность нахождения нашего светила в таком облаке оценивается около 100 тыс. лет.

Теперь мы готовы перейти к рассмотрению экологических последствий такого попадания Солнца в молекулярное облако.

Солнечная система в молекулярном облаке. Хотя сейчас Солнце находится вблизи галактической плоскости (см. табл. 3), окружающая нас межзвездная среда характеризуется концентрацией молекул водорода, свойственной для областей межзвездной среды вне облаков ($0,1-0,2 \text{ см}^{-3}$). Когда столь мала плотность межзвездного газа, он, собственно, вообще не проникает в пределы Солнечной системы. Это происходит потому, что солнечный ветер «выдувает» в межзвездной среде обширную полость, называемую гелиосферой. Полагают, что размер гелиосферы порядка 100 а. е., а ее границы определяются из условия равенства динамического напора ветра и давления межзвездного газа. Реальная картина, впрочем, несколько сложнее: гелиосфера не имеет сферической симметрии, она «поджата» с той стороны, куда направлен вектор относительной скорости Солнца, а с противоположной стороны образуется длинный шлейф.

Если плотность межзвездного газа увеличивается, гелиосфера соответственно уменьшается. Как показывают расчеты, при концентрации молекул в облаке более 100 см^{-3} (это довольно умеренная величина) граница гелиосферы со стороны ее «поджатия» будет уже меньше 1 а. е. В этом случае Земля часть года будет находиться непосредственно в межзвездной среде, а другую часть года — по-прежнему в солнечном ветре

(со стороны шлейфа). При этом должно происходить множество всяких изменений, которые, к сожалению, еще подробно не изучались.

Очевидно, однако, что попадание Земли за пределы гелиосферы должно сопровождаться увеличением интенсивности космических лучей, но, скорее всего, небольшим, не имеющим экологического значения. Многие авторы полагают, что в такой ситуации должно, кроме того, происходить значительное похолодание и наступить оледенение. Если молекулярное облако достаточно плотное, то может наступить и глобальное оледенение (см. табл. 1). В соответствии с некоторыми оценками прохождение Солнечной системы через подобные молекулярные облака (особенно плотные) должно случаться раз в 200 млн. лет, что, в общем, согласуется с частотой следования таких оледенений.

Если эти оценки справедливы, то рассматриваемая схема конкурентоспособна с гипотезой Фаулера о «быстром» перемешивании солнечных недр. Следует только предположить, что прохождение через молекулярное облако инициирует оледенение, но не определяет его длительность. И, может быть, такого оледенения вполне достаточно для объяснения вымирания видов.

Однако надо признать, что предположения, используемые для получения этих оценок, кажутся уж чересчур упрощенными. Для того чтобы ответить на вопрос о том, каково будет похолодание и будет ли оно вообще сопровождаться оледенением, в ситуации, где участвует множество неизученных противоборствующих факторов, требуется провести дополнительные исследования. Например, на Солнце из межзвездного облака должна выпасть пыль, что, естественно, вызовет некоторое увеличение светимости и соответствующее возрастание солнечного ветра и потоков ультрафиолетовой и рентгеновской радиаций. Это не может не сказаться на размерах гелиосферы, и Земля, возможно, уже не будет выходить в «открытый космос» — непосредственно в облако.

С другой стороны, и на Землю также должна попадать межзвездная пыль, что неминуемо, казалось бы, должно вызывать похолодание. Однако в это время светимость Солнца повышена, что, видимо, препятствует похолоданию. Но с пылью в земную атмосферу будет поступать вода (в виде льдинок), которая может гло-

бально изменить облачный покров Земли, что скажется на альбедо и, естественно, на температуре земной поверхности. Этот умозрительный перечень различных факторов, влияющих в ту или иную сторону на похолодание или потепление, который еще можно продолжить, приводит к следующему заключению. Прохождение Солнечной системы через достаточно плотное молекулярное облако, вероятно, должно сопровождаться какими-то климатическими изменениями, однако их масштабы и характер нам пока совершенно неясны.

Нет никакой определенности и еще по одному весьма интересному и важному вопросу. Космическая аэрозоль, выпадающая на Землю в течение всего времени пребывания Солнечной системы в молекулярном облаке (100 тыс. лет), содержит некоторый набор органических соединений, богатства которого, мы, возможно, и не представляем себе. Этот органический «добавок» может существенно повлиять на состав нашей атмосферы. Не исключено, что этот фактор, никогда, насколько авторам известно, подробно не рассматривавшийся, может внести ощутимый вклад в ту новую экологическую ситуацию, которая возникает при попадании Солнечной системы в газопылевые комплексы.

Прежде чем продолжить рассмотрение экологических последствий пребывания Солнечной системы в газопылевом комплексе, необходимо рассказать об одном весьма важном открытии последних лет. Но сначала подведем некоторые предварительные итоги.

При своем движении в Галактике (вращение вокруг галактического центра, осцилляции относительно галактической плоскости) Солнце неизбежно должно попадать в область относительно высокой плотности межзвездной среды — в газопылевые комплексы. Такие события должны происходить с цикличностью около 30 млн. лет (период осцилляций относительно галактической плоскости), при этом не обязательно следует попадание Солнечной системы в плотные облака молекулярного водорода при каждом прохождении галактической плоскости Солнцем.

Едва ли вызовет сомнения, что попадание в плотное молекулярное облако неминуемо должно сопровождаться серьезными экологическими последствиями на Земле. Хотя это соображение высказывалось еще давно (известным астрономом Х. Шепли в 1921 г.), прихо-

дится констатировать, что характер таких экологических изменений изучен совершенно недостаточно. Вероятно, что рассматриваемое событие будет сопровождаться климатическими изменениями, например, оледенениями и, возможно, глобальными. Какое-то значение может иметь и попадание в атмосферу большой массы органических соединений. Остается, правда, неясным, в какой мере указанные экологические изменения могут служить объяснением великих вымираний видов.

«ИРИДИЕВЫЕ» АНОМАЛИИ И ДРЕВНИЕ КРАТЕРЫ

В молекулярных облаках в изобилии имеется пыль. Эти объекты, как полагают, весьма неустойчивы по отношению к процессам конденсации в крупные тела (там идет процесс звездообразования). Нет ничего невозможного и в том, что в газопылевых комплексах присутствуют кометоподобные или астероидальные тела. Какая-то доля их может достигать довольно больших размеров. В период пребывания Солнечной системы в молекулярном облаке возможен их захват Солнцем и последующее столкновение Земли с подобными телами, что должно повлечь за собой весьма далеко идущие экологические последствия.

Эти соображения были высказаны несколько лет назад английскими исследователями С. Клэбом и В. Напье, полагавшими, что попадание Солнечной системы в газопылевой комплекс происходит при прохождении Солнца через спиральный рукав Галактики. Правда, если верно, что Солнце находится близко к зоне коротации, то прохождения Солнечной системы через спиральный рукав чрезвычайно редки и основное значение приобретают осцилляции движения Солнца относительно галактической плоскости.

Важное открытие, о котором нам сейчас предстоит рассказать, состоит в обнаружении признака, свидетельствующего о том, что такие события и в самом деле имели место в прошлом. Это открытие вызвало небывалый интерес по ряду вопросов, касающихся проблемы великих вымираний видов, и одновременно породило дискуссию, в которую были вовлечены различные специалисты, в том числе и астрофизики, и геохимики, и биологи, и геологи.

Сейчас, когда пишутся эти строки, дебаты находятся в самом разгаре. Дважды в год в широкоизвестном еженедельнике «Найчур» публиковались подборки в связи с упомянутой дискуссией. В начале 1985 г. в США состоялась специальная конференция, где обсуждался весь круг тех же вопросов («Галактика и Солнечная система»). Поскольку многие из них отнюдь не решены, подчеркнем предварительный характер излагаемых далее результатов и недостаточную разработанность предложенных в связи с ними различных гипотез и идей.

«Иридиевые» аномалии и их вероятная природа. Небольшая группа ученых из США, в которую вошли известный физик Л. Альварес, его сын У. Альварес (геолог), Ф. Асаро и Г. Мишель, сообщила, что в слое красной глины, соответствующем переходу от мезозойской эры к кайнозойской (знакомый нам переход С — Т), имеется аномально высокая концентрация иридия и осмия. Подстилающие эти глины нижние слои и слои, расположенные выше, содержат «нормальную» фоновую концентрацию этих элементов.

Здесь следует пояснить, что иридий и осмий являются представителями элементов группы платины и выявление прежде всего именно этих конкретных элементов связано с чисто технической стороной использованного этими авторами сверхчувствительного метода анализа. Элементы группы платины относительно редки в земной коре, гораздо более обильны они в веществе метеоритов. После тщательного рассмотрения результатов своего анализа по другим элементам упомянутые ученые пришли к заключению, что на границе, разделяющей меловой период от третичного (С — Т), имел место принос на Землю космического вещества.

Очень быстро, с интервалом в несколько месяцев, последовали сообщения с подтверждением реальности иридиево-осмиевой аномалии — для того же перехода С — Т, но совсем из разных географических районов. В процессе этой коллективной работы оказалось возможным выявить некоторые важные детали. Например, для одного из регионов (Испания) удалось показать, что временной интервал, в течение которого на Землю поступало космическое вещество, был очень коротким в геологическом масштабе — не более 50 лет. Причем этот короткий промежуток времени совпадает с эпохой вымирания морских простейших (оценки для других

регионов более осторожные — длительность этого интервала порядка 10 тыс. лет).

Л. Альварес и его сотрудники высказали предположение, что открытая ими аномалия содержания иридия и осмия объясняется столкновением Земли с небольшим астероидом. Экологическая катастрофа, вызванная этим столкновением, и послужила, по мнению этих ученых, причиной исчезновения на Земле многих видов живых организмов, в том числе и динозавров. Зная среднее отношение доли элементов группы платины к содержанию силикатов и других элементов, весьма распространенных в метеоритах (и вообще в Солнечной системе), можно оценить массу астероида, а следовательно, и его размеры, энергию, выделенную при взрыве от удара астероида, и т. п.

Надо сказать, результаты этих оценок производят сильное впечатление: диаметр тела 10 ± 4 км, энергия взрыва 10^{30} эрг. Последняя в миллион раз больше энергии, выделенной при Тунгусской катастрофе в 1908 г. В пересчете же на единицу площади поверхности Земли это в тысячу раз больше воздействия гипотетической солнечной супервспышки.

На первых порах авторы гипотезы полагали, что тело, столкнувшееся с Землей 66 млн. лет назад, было астероидом, принадлежавшим к семейству Аполлона — Амура. Так принято называть астероиды, орбиты которых имеют расстояния периастров менее 1 а. е. Пересекая орбиту Земли, такие объекты имеют определенный шанс столкнуться с нашей планетой. Правда, они обладают довольно скромными размерами. Самый массивный представитель семейства Аполлона, открытый не так давно в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР астрономом Л. И. Черных, имеет не более 5 км в диаметре. В 1937 г. астероид из этого семейства, Гермес, имеющий диаметр около 1 км, проследовал мимо Земли на расстоянии, равном диаметру лунной орбиты.

Однако именно для астероидального тела размером 10 км была построена количественная модель столкновения, позволившая сделать определенные выводы о характере и масштабах экологических нарушений. Забавно, что авторы этой работы сочли возможным не учитывать при расчетах океаны и рассмотрели лишь случай столкновения «грунт о грунт» (ведь «стандартная» глубина океана, 2,5 км, существенно меньше диаметра

астероида). Картина, которая возникает из проведенных ими расчетов, не может не поразить воображение. При взрыве от удара астероида образуется кратер диаметром 100—150 км, а масса вещества земной поверхности, в 100 раз превышающая массу падающего тела, выбрасывается в атмосферу (возможно, столько же падает в атмосферу и воды). До половины всей энергии, выделившейся при взрыве, передается воздуху атмосферы (в основном аэродинамически), в результате чего должен наблюдаться глобальный рост температуры — до 30°C.

Самые мелкие частички пыли выбрасываются в стратосферу и также распределяются глобально. Следствием этого является последующее охлаждение атмосферы и океана. Полностью блокируется фотосинтез, поскольку интенсивность света на земной поверхности снижается примерно в 100 тыс. раз. Существенно должна уменьшиться эффективная толщина озоносферы. Пыль же должна оседать после взрыва в течение нескольких лет и дать в конечном счете «иридиевую» аномалию.

После ознакомления с масштабами катастрофы уже не возникает вопроса о том, могло ли при этом произойти великое вымирание видов, скорее удивительно, что биосфера вообще уцелела. Не вдаваясь в подробности, отметим, что если бы падающее тело было ядром кометы (и состояло в большинстве своем из летучих соединений), общая картина катастрофы в основном не изменилась. Важной особенностью экологических нарушений, вызванных падением кометы, было бы, как полагают, отравление поверхностных слоев Мирового океана органическим компонентом кометного вещества.

Большинство геологов и палеонтологов встретило гипотезу о падении астероида как причину вымирания видов дружной оппозицией. За недостатком места мы здесь не можем подробно изложить соображения, высказывавшиеся в ходе дискуссии. Однако попытки противопоставить астероидальной гипотезе какую-нибудь теоретическую схему, объясняющую «иридиевую» аномалию, не привели к успеху. Некоторые другие аргументы, высказанные противниками этой гипотезы, также не выглядели убедительными.

Некоторые из такого рода аргументов отражали опасения (не обязательно осознанные), что обсуждаемая гипотеза подрывает основополагающий классический

принцип геологии — принцип актуализма. Согласно этому фундаментальному принципу, сформированному Ч. Лайеллем, все изменения в истории Земли должны объясняться процессами, действующими в наше время. Но читатель, надеемся, отметит, что редкие события типа падения астероида должны, конечно же, фигурировать в списке процессов, происходящих в «наше время».

Однако некоторые возражения против астероидальной гипотезы были весьма серьезны. Где, спрашивали оппоненты, минералогический компонент упавшего астероида (однако совсем недавно он был действительно обнаружен)? Если при падении астероида должен возникнуть кратер диаметром не менее 100 км, то почему он не найден?

По крайней мере, два высказанных аргумента кажутся почти «смертельными» для обсуждавшейся гипотезы. Во-первых, падение астероида должно сопровождаться «мгновенным» скачком в смене фауны. Между тем надежно установлено, что во многих случаях имеется диапазон времен таких переходов от одного набора видов живых организмов к другому, а сама величина временного интервала этих переходов зависит от вида организма и географического региона. Так, например, динозавры начали вымирать еще до катастрофы, отмеченной «иридиевой» аномалией, и, видимо, какое-то время существовали после этого момента времени.

Во-вторых, оппоненты обратили внимание на то, что в самих данных об «иридиевой» аномалии имеются определенные неувязки. От одного пункта к другому изменяется сама величина избыточной концентрации этих химических элементов и характер их сопровождения другими элементами. Это явно противоречит концепции единого катастрофического соударения.

Открытие следующей «иридиевой» аномалии, датированной эпохой, отстоящей от нас на 34,4 млн. лет, казалось, подтверждало основательность этих сомнений. Обратившись к табл. 3, читатель отметит, что вымирание видов в конце эпохи эоцена отнесено ко времени 37 млн. лет назад. О совпадении этих дат можно говорить лишь с большой натяжкой (о третьей «иридиевой» аномалии пока мало что известно, данные о ней лишь предварительные).

И, наконец, законный вопрос со стороны внимательного читателя: «А как же с периодом около 30 млн.

лет?» Ведь вероятность столкновения Земли с крупным астероидом семейства Аполлона — Амура оценивается как одно событие за 100 млн. лет, да и четкого периода здесь не должно быть.

Ответы на эти критические замечания последовали очень быстро. В частности, важные результаты были получены из тщательного анализа данных о древних кратерах, образовавшихся при падении метеоритов.

Кратеры на Земле и на других планетах. Область знаний, касающаяся кратеров ударного происхождения, представляющая собой причудливое сочетание некоторых разделов чистой физики, геологии, планетологии и астрономии, получила в последние два десятилетия интенсивное развитие. Этому содействовало, очевидно, и открытие того, что такие кратеры — характерная особенность ландшафта всех планет земной группы и спутников больших планет.

Если известна масса падающего тела, можно примерно оценить диаметр образовавшегося кратера. Сравнительное изучение кратеров на разных телах позволило сделать вывод, что темп кратерообразования для планет земной группы в среднем за большой интервал времени примерно один и тот же. Сравнивая плотность распределения ударных кратеров по поверхности для различных участков, можно оценить относительный возраст этих участков у данной планеты. Более того, зная скорость кратерообразования, можно оценить абсолютный возраст какого-либо региона (предполагая относительно медленное разрушение кратеров).

Именно таким образом стало известно, что один из самых крупных вулканов Марса, Олимп (высотой 21 км и поперечником основания конуса 700 км), сравнительно «молод» — он возник примерно 200 млн. лет назад (может быть, почти одновременно с эпизодом вымирания видов в начале мезозоя, R — T).

На Земле ударные кратеры в общем-то известны уже давно, но они стали изучаться современными методами только в последние два с небольшим десятилетия. Новейший каталог ударных кратеров включает в себя почти 100 объектов. И надо сразу же сказать, что в большинстве случаев для упомянутых там кольцеобразных структур еще нет строгого доказательства их ударного происхождения (получение соответствующих данных — это довольно трудоемкое и дорогостоящее дело).

Зато в отличие от каталогов лунных или меркурианских кратеров, для многих их земных аналогов известен возраст (либо верхний предел этой величины).

Интересующие нас ударные кратеры изучены достаточно подробно лишь в трех географических регионах: Восточной Европе (главным образом Европейской части СССР), Канаде и США. И как полагают, такого рода исследованиями охвачено не более 10% земной поверхности.

Имея данные о возрасте кратеров, можно получить представление о том, как долго они могут сохраняться. Соответствующее исследование привело к следующему результату: кратер размером не более 20 км не может сейчас надежно идентифицироваться, если он образовался более чем 600 млн. лет назад. Кратеры большего размера сохраняются дольше. Вообще же самый древний кратер в современном каталоге, Вредефорт (на территории ЮАР), образовался $1,97 \pm 0,01$ млрд. лет назад и имеет размер 140 км. Таков же размер еще одного очень древнего образования, расположенного в Канаде (Онтарио), кратер Сэдбери, чей возраст оценивается в $1,84 \pm 0,15$ млрд. лет.

Большинство кратеров описываемого каталога имеет возраст не больше 300 млн. лет. Этим коллекция земных кратеров существенно отличается, например, от лунной или марсианской, где преобладают, напротив, очень древние объекты подобного типа. Такое различие вполне объяснимо. На Луне возникшие крупные кратеры вообще почти не разрушаются, и некоторые гигантские кольцевые структуры сохранились со времен эпохи очень интенсивного кратерообразования 4—3 млрд. лет назад.

Если теперь сопоставить данные каталога с «иридиевыми» аномалиями и датами вымирания видов (см. табл. 3), то нетрудно заметить одно любопытное обстоятельство. Для интересующего нас события 65—66 млн. лет назад (С — Т) в каталоге нет кратера размером порядка 100—150 км. Но есть современный этому событию меньший кратер — Каменек (СССР), имеющий размер 25 км. Возможно, есть и еще один — Гусев (СССР) размером 3 км.

Для другой «иридиевой» аномалии и близкой к ней даты вымирания видов в позднем эоцене (37 млн. лет назад) мы находим в каталоге сразу три кратера: Мистастин (Канада; диаметр 28 км; возраст 38 ± 4 млн.

лет), Попигайская котловина (СССР; 38 ± 9 млн. лет), Вэнапайти (Канада; 8,5 км, 37 ± 2 млн. лет). Если образование этих кратеров произошло случайно, то в условиях такого малого набора событий, как рассмотренный каталог, подобное близкое временное соседство перечисленных кратеров с известными аномалиями было бы очень маловероятным совпадением.

Естественно, что возникает подозрение об образовании кратеров группами. Эта мысль пришла в голову, вероятно, сразу нескольким исследователям и сразу же была проверена. Оказалось, что если выбрать из каталога кратеры, возраст которых определен, то в их образовании обнаруживается четкий период. У одних исследователей этот период оказался равным 31,0 млн. лет, у других — чуть меньше (28,4 млн. лет). Учитывая погрешности, можно заключить, что это один и тот же период.

Отметим, что величина этого периода практически совпадает с периодом осцилляций движения Солнца относительно галактической плоскости, с циклом, характерным для геологических процессов, и величиной периода, найденной в подборке данных Раупа — Сепкоски (см. табл. 3). И совсем примечательно то, что эпизоды вымирания видов и пароксизмы кратерообразования совпадают по фазе, т. е. даты вымирания видов приходятся именно на максимумы в частоте образования кратеров.

Итак, самые серьезные возражения против астероидальной гипотезы полностью снимаются, если учитывать падение не какого-то одного тела, а эпизод бомбардировки, занимающий, разумеется, определенный интервал времени. Например, дававшие повод для самых серьезных сомнений подробности первой «иридиевой» аномалии (географические различия в величине эффекта, его приуроченность к разным горизонтам отложений и т. п.) имеют вполне естественное объяснение, если рассматривать все эти особенности с точки зрения существования серии падений, следовавших одно за другим в разные пункты земной поверхности.

Кажется вполне возможным, что сам характер экологических нарушений мог быть до некоторой степени различным для разных событий в пределах данной серии падений: гигантские лесные пожары при падении тела на материк, колоссальные цунами при падении в океан

и т. д. Не исключено, что падение особенно крупных тел могло бы иметь своим последствием некоторые эффекты «долгосрочного» действия, такие, как изменения морских течений в установившейся картине, или индуцированные тектонические перемещения, или инверсии геомагнитного поля.

В общем случае, надо сказать, что разнообразные экологические последствия описываемых эпизодов бомбардировки земной поверхности телами астероидального размера пока еще не прослежены с должной степенью полноты. По этой причине некоторые возражения оппонентов, сами по себе весьма важные, не представляются сейчас убедительными. Что же касается не обнаруженного большого кратера с возрастом, соответствующим эпохе вымирания динозавров, то этот вопрос в настоящее время кажется второстепенным.

Возможная природа бомбардирующих тел. В вопросе о происхождении бомбардирующих тел сейчас пока высказаны две точки зрения, и об одной из них уже упоминалось. Это предположение Клэба — Напье о том, что тела астероидальных размеров содержатся в достаточно плотных облаках газопылевых комплексов. Они затем захватываются в Солнечную систему при прохождении ею облака, причем часть этих тел попадает на орбиты, пересекающие орбиту Земли, пополняя тем самым популяцию астероидов семейства Аполлона — Амура и приводя к циклическим повторяющимся эпизодам бомбардировки.

Против такого варианта объяснения существуют и возражения. Одно из них касается возможности в рамках такой гипотезы обеспечить цикличность бомбардировок (с квазипериодом 30 ± 1 млн. лет). Ведь необходимо допустить, что концентрация астероидальных тел даже в облаке умеренного размера и плотности достаточно высока. Как мы знаем, вероятность прохождения через плотное молекулярное облако при пересечении галактической плоскости Солнцем не равна единице (см табл. 4).

Это и некоторые другие соображения вообще ставят под сомнение возможность получить выраженную каким-либо образом цикличность в рамках данной гипотезы. Продолжительность бомбардировки в рассматриваемом случае, разумеется, должна быть порядка времени на-

хождения Солнечной системы в облаке, т. е. около 200 тыс. лет.

Вторая гипотеза о происхождении бомбардирующих тел предполагает, что они принадлежат Солнечной системе и представляют собой кометные ядра из гигантского кометного резервуара, расположенного на далекой периферии Солнечной системы. Роль молекулярного облака в данном случае сводится к тому, что оно своим гравитационным воздействием вносит возмущение в орбиты этих тел. Часть их при этом попадает спустя какое-то время на траектории, пересекающие земную орбиту. В итоге каждое возмущение приводит к появлению внутри Солнечной системы ливня комет и к эпизоду бомбардировки земной поверхности кометными ядрами. Если обратиться к современной литературе по кометной астрономии, то о свойствах этих тел можно почерпнуть следующие необходимые нам сведения: массы 10^{13} — 10^{19} г (масса астероидального тела, ответственного за появление «иридиевой» аномалии, соответствующей эпохе вымирания динозавров (С — Т), оценивается величиной порядка $5 \cdot 10^{17}$ г); ориентировочное значение плотности около 1 г/см^3 . Такое низкое значение плотности обусловлено тем, что кометные ядра, как полагают, являются газопылевыми конгломератами (газы здесь замерзшие в виде льда). Диаметры этих тел составляют 0,3—16 км.

Кометный резервуар Солнечной системы (так называемое облако Оорта) насчитывает в общей сложности не менее 10^{11} кометных ядер — столько же звезд насчитывается в Галактике. Эти долгопериодические ненаблюдаемые еще кометы проводят большую часть своего времени вблизи точки афелия своих орбит, т. е. далеко за пределами гелиосферы — на расстоянии около 40 тыс. а. е. от Солнца (недавно было высказано мнение, что это расстояние несколько меньше — 10 тыс. а. е.).

Существенно, что для гравитационного возмущения облака Оорта со стороны молекулярного межзвездного облака Солнечная система не обязательно должна проходить через само молекулярное облако, достаточно здесь сравнительно «близкого» прохождения, где-то на расстоянии 5—15 пк от Солнца. Необязательно, конечно, предполагать, что источником гравитационного возмущения кометного резервуара были бы только молекулярные облака. Своего рода ливни кометных ядер могут

появляться также и в том случае, если у Солнца имеется невидимый спутник, чья орбита пересекает облако Оорта. Сторонники этой идеи отмечают, что согласие между моментами прохождения галактической плоскости Солнечной системой и великих вымираний видов вовсе не такое хорошее. И дело здесь не только в том, что период осцилляций движения Солнца относительно галактической плоскости вычисляется с некоторой неточностью, а прежде всего в том, что существует серьезное и трудноустраняемое расхождение по фазе. Сейчас, например, Солнечная система находится очень близко к плоскости симметрии звездной системы, но последние по времени, ближайšie к нашей эпохе эпизоды вымирания видов происходили 11 млн. лет назад.

Гипотеза о том, что гравитационное возмущение кометного резервуара обусловлено необнаруженным пока спутником Солнца, не сталкивается с подобной трудностью. Предполагается, что в настоящее время это загадочное тело, получившее название Немезиды, находится близ своего афелия, где-то на расстоянии (около 90 тыс. а. е. от Солнца. Ближайшая к Солнцу точка орбиты (периастр) должна располагаться на расстоянии порядка 30 тыс. а. е. Масса спутника не может превышать нескольких процентов массы Солнца (т. е. 10 масс Юпитера). Ученые, рассматривавшие эту гипотезу, полагают, что больше всего шансов обнаружить спутник (если, конечно, он существует), когда будет реализована специальная программа наблюдений в инфракрасном диапазоне.

Однако и эта гипотеза встречает ряд возражений. Основное из них состоит в том, что орбита Немезиды оказывается неустойчивой по отношению к гравитационным возмущениям со стороны ближайших звезд и молекулярных облаков (время жизни системы Солнце — Немезида не более 1 млрд. лет). Может, правда, облако Оорта возмущает просто десятая планета, и тогда период 30 млн. лет связан с прецессией ее орбиты?

В общем, вопрос о природе бомбардирующих тел остается пока нерешенным. Они могут быть галактического происхождения, но могут принадлежать и Солнечной системе. Пожалуй, здесь следует подчеркнуть лишь одно: независимо от поставляющего их источника они появляются группами. Следовательно, в полном соответствии с результатами анализа данных о древних крате-

рах ударного происхождения можно говорить о цикличности повторяющихся эпизодов бомбардировки, а не об отдельных падениях единичных астероидальных (или кометных) тел.

Идеи, соображения и наблюдательные данные, изложенные в этом разделе, уязвимы для критики. Можно не сомневаться, что кое-что в самое ближайшее время будет сдано в архив и станет достоянием историков науки. Тем не менее есть основание и для проявления осторожного оптимизма. Кажется вероятным, что после открытия «иридиевых» аномалий вопрос об одном из вариантов космических воздействий на эволюцию биосферы поставлен на твердую почву проверяемых фактов. Гипотеза, согласно которой глубокие, циклически повторяющиеся нарушения экологического равновесия обусловлены прежде всего бомбардировкой земной поверхности телами астероидальных размеров, должна восприниматься с полной серьезностью представителями наук о Земле и биологами.

После того как облако Оорта подвергается гравитационному возмущению и к центру Солнечной системы устремляется очередная ливень кометных ядер, только ничтожная доля этих тел испытывает соударение с Землей (а также с Луной, Меркурием, Венерой и т. д.). Какая-то их доля проходит от Земли на сравнительно небольшом расстоянии. Некоторые авторы (Ф. Хойл, В. Викрамасинк) проанализировали последствия возможного сближения Земли с наиболее крупными представителями такого ливня. При определенных обстоятельствах (например, при очень высоком уровне солнечной активности типа средневекового максимума) Земля может оказаться на некоторое время в пределах мощного кометного хвоста. В этом случае становятся существенными следующие два эффекта.

Во-первых, в верхние слои земной атмосферы попадает некоторое количество пыли. Ф. Хойл и К. Викрамасинк подсчитали степень экранирования потока солнечного излучения таким пылевым слоем. Их расчеты показывают, что ослабление солнечного излучения в видимой области может оказаться очень большим (в десятки раз). Если это так, то неизбежно существенное охлаждение земной поверхности (инициированное оледенение?) и резкое снижение интенсивности фотосинтеза. Во-вторых, на Землю должно попасть некоторое коли-

чество органических соединений. Однако, как уже отмечалось, подробный анализ последствий выпадения на Землю такого рода соединений еще не проводился.

Во всяком случае, подобно другим разделам астрофизики, физика комет и астероидальных тел предполагает возможность воздействия извне на ход эволюции биосферы в самых различных вариантах.

БИОСФЕРА И КОСМОС

Настала пора подвести итоги. До самого последнего времени в современной науке было широко распространено убеждение, что все крупномасштабные процессы на Земле протекают строго автономно, без всякого вмешательства каких-либо причин космического происхождения. Предполагалось (точнее, постулировалось), что устойчивая эволюция биосферы с несомненностью указывает на высокую степень стабильности экологических условий на Земле на протяжении, по крайней мере, 3 млрд. лет. Такое постоянство экологических условий предполагает, в свою очередь, неизменность параметров космического окружения Земли.

Эта традиционная точка зрения была в свое время кратко сформулирована известным палеонтологом и писателем-фантастом И. Е. Ефремовым (глубоко интересовавшимся и астрофизикой): «...Неуклонное восхождение исторического развития от низших форм к высшим... вне всякого сомнения доказывает чрезвычайно длительную устойчивость среды обитания на поверхности Земли, отражающую постоянство радиации Солнца и спокойное состояние вещества в земных недрах... Чтобы пройти путь от первичных рыбообразных позвоночных до высших млекопитающих, потребовалось около 400 млн. лет.

За этот громадный отрезок времени Солнце ни разу «не подвело» наземную жизнь. Равным образом те триллионы километров, которые пролетела наша Земля вместе со всей Солнечной системой через пространства Галактики, не привели ни к каким губительным встречам» (Населенный космос. М., Наука, 1972, с. 95).

Спустя два с небольшим десятилетия в астрофизике накопились теоретические и наблюдательные данные, существенно изменяющие этот тезис. Возникло направление исследований, получившее название «космического

Современное состояние проблемы экологических изменений

| Астрофизическое явление | Переход энергии эрг · см ⁻² | Экологические изменения | Частота следования |
|--|---|---|--------------------------------|
| Крупномасштабные вариации солнечной активности | — | Умеренные климатические изменения | ? |
| Супервспышки? | 10 ⁸ | Повреждение озоносферы, увеличение интенсивности УФ, понижение температуры | ? |
| Долговременные вариации солнечной постоянной | — | Глобальные оледенения? | Раз в 10 ⁸ лет |
| Взрыв Галактического ядра? | 10 ⁸ | Гамма-импульс с повреждением озоносферы и увеличением интенсивности УФ и космических лучей | Цикл в 10 ⁷ лет |
| Вспышка Сверхновой на расстоянии 10 пк | 10 ⁹ | Гамма-импульс с повреждением озоносферы и увеличением интенсивности УФ и космических лучей, понижение температуры | Раз в 3 · 10 ⁸ лет |
| Прохождение через молекулярные облака | — | Климатические изменения, привнос органических соединений | Раз в 3 · 10 ⁸ лет |
| Бомбардировка телами астерон-дальных размеров | 10 ¹² | Резкое повышение, затем понижение температуры, разрушение озоносферы, пыль в атмосфере | Цикл в 3 · 10 ⁷ лет |

катастрофизма». Название не вполне удачно, поскольку влияние космического окружения Земли на среду ее обитания далеко не во всех случаях носит характер катастрофы в узком понимании этого слова, но, скорее, соответствует достаточно медленным и постепенным изменениям экологических условий.

Сводка важнейших результатов, полученных в рамках указанного направления исследований, представлена в табл. 5. Воздействие астрофизических явлений, отмеченных знаком вопроса (в первой колонке), весьма проблематично. Не вполне ясно, существуют ли солнечные супервспышки; неизвестно, взрываются ли ядра в галактиках того же типа, к которому принадлежит наша Галактика. Во всех остальных случаях палеоэкологические последствия того или иного масштаба представляются совершенно неизбежными.

Десятки раз за время эволюции биосферы вспыхивали Сверхновые в ближайших звездных окрестностях Солнечной системы. Вероятно, наиболее частой («обычной»?) причиной изменений в нашей среде обитания были прохождения Солнечной системы через газопылевые облака. Характер и масштабы этих палеоэкологических изменений, однако, не вполне ясны. В частности, только после специальных исследований с применением климатических моделей современного типа к палеоатмосфере можно надеяться получить ответ на вопрос о причинах глобальных оледенений.

Видимо, самым впечатляющим явлением, ответственным за резкое нарушение экологического равновесия на Земле, должны быть признаны эпизоды бомбардировки земной поверхности телами астероидальных размеров. Остаются пока неясными ни природа, ни происхождение этих тел. Если резкие возрастания скорости исчезновения семейств морских ископаемых организмов можно использовать в качестве показателей наступления критических моментов эволюции биосферы в целом, то надо признать, что указанные эпизоды — весьма существенная причина этих самых эволюционных кризисов. Есть основания предполагать, что и вымирание динозавров также связано с подобным эпизодом бомбардировки.

И все же следует подчеркнуть, что эволюция биосферы протекала под влиянием преимущественно земных факторов. Неоспоримо, что многие важнейшие

этапы этой эволюции были обусловлены совокупностью причин земной природы, и вполне правомерно рассматривать многие процессы, влиявшие на эволюцию, как процессы, протекавшие автономно. Однако на фоне подобных процессов и одновременно с ними на эволюцию неизбежно активно воздействовали и процессы космической природы. И на каждом этапе эволюции экологическая ситуация и ее изменения определялись совокупным действием чисто земных и космических причин в их органическом единстве. Без учета «космической составляющей» природных явлений само понимание эволюции биосферы может оказаться неполным и односторонним.

Если еще раз вернуться к табл. 5, то можно обратить внимание на то, что все экологические изменения сводятся в большинстве случаев к «повреждениям» озоносферы и климатическим вариациям. Таким образом, за некоторыми исключениями, экологические нарушения, обусловленные космическими причинами, носят в конечном итоге не экзотический, но скорее «обыденный» характер. В этом состоит очевидная трудность выделения «космической составляющей» такого рода нарушений экологического равновесия. Одновременно, при построении адекватных действительности экологических моделей учет этой «космической составляющей» делается совершенно необходимым.

Наконец, можно отметить, что для астрофизиков, разумеется, очень интересно бы знать, как часто Солнечная система проходит в действительности через плотные облака межзвездной среды. А если справедливо предположение Кляба — Напье о происхождении бомбардирующих тел, то у нас под ногами имеется вещество из весьма далеких от нас сейчас областей Галактики! Поэтому дальнейшее развитие исследований по космическому катастрофизму представляет несомненный интерес для астрофизики.

Вместо статичного и несколько идиллического изображения эволюции биосферы, обрисованного в вышеприведенных словах И. А. Ефремова, сейчас начинают проступать контуры картины куда более сложной (и потому — интересной). С одной стороны, некоторые из явлений, перечисленных в табл. 5 (к ним надо добавить и чисто земные), должны были сопровождаться экстремальными экологическими последствиями, не исключая, казалось бы, даже полного разрушения среды обитания.

Биосфера, похоже, реагировала на такие эпизоды изменениями своего видового состава, иногда довольно резкими.

Подобную реакцию, видимо, можно рассматривать как интегральный ответ целостной системы на возмущение, аналогичный развитию «стандартной» стрессовой реакции организма на острую ситуацию (неважно какой природы). С другой стороны, без какого-либо перерыва продолжалась восходящая эволюция, и важнейшие экологические параметры не достигали своих критических значений. Трудно удержаться от предположения о существовании глобального гомеостатического механизма, компенсировавшего в известных пределах изменения этих параметров.

Такого рода идея обсуждалась рядом автором. Например, белорусские исследователи В. Б. Кадацкий и Л. М. Каган полагают, что биосфера поддерживает климатические показатели на Земле в некотором оптимальном режиме, способствующем «нормальному» функционированию. С этой точки зрения понижение светимости Солнца вызывает в среде обитания такие изменения, которые способствуют повышению температуры на поверхности Земли (и — наоборот в случае повышения светимости). Ледниковые эпохи в рамках этой гипотезы соответствуют ситуации, когда возмущение имеет очень большую «амплитуду» и компенсирующий механизм уже не может восстановить полностью оптимальный режим.

Представление о биосфере как единой кибернетической системе, обладающей свойствами гомеостата, не является общепринятой концепцией и может даже показаться весьма крайним предположением. Но только на первый взгляд. Во всяком случае, живое вещество, несомненно, располагает «мощностями» вполне достаточными, чтобы обеспечить такого рода управление. Давно известно, что в атмосфере и гидросфере многие важные параметры определяются динамическим равновесием, непосредственно связанным с живым веществом.

Кислород атмосферы — полностью биогенного происхождения и целиком обновляется каждые несколько тысячелетий (углекислый газ — всего за 6,3 года!). Весь объем океанской воды профильтровывается планктоном за полгода (дополнительные сведения такого рода чи-

татель может найти, например, в книге¹. Если рассматривать биосферу, как единую систему, активно реагирующую на внешние изменения, в частности, противостоящую космическим воздействиям, то результаты исследований ни «космическому катастрофизму» не представляются ни в какой мере парадоксальными.

Вполне логично предположение, что совершенство гомеостатического механизма, о котором шла речь, возрастает в ходе эволюции. Пользуясь термином В. И. Вернадского, биосфера наших дней — это уже ноосфера, когда все основные параметры биосферы, все ее важнейшие динамические мощности, даже сама ответственность за существование живого вещества начинает определяться нашей человеческой цивилизацией. Как же в этом случае будет обстоять дело с этим гомеостатическим механизмом, совершенствующимся в ходе эволюции?

В русле идей В. И. Вернадского, научно-технический потенциал современной цивилизации — это часть, фрагмент все того же гомеостата. Сейчас, в наши дни, мы, человечество, пожалуй, смогли бы уже уберечь нашу прекрасную планету от появления на ее поверхности кратера, даже с диаметром километров этак в 100. А ведь это, пожалуй, самое неотвратимое из возможных космических воздействий.

¹ Лапо А. В. Следы былых биосфер. М., Знание, 1979.

**Борис Михайлович Владимирский,
Лев Дмитриевич Кисловский**

КОСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

Главный отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин*. Редактор *Е. Ю. Ермаков*. Мл. редактор *Л. Л. Нестеренко*. Обложка художника *А. А. Астрецова*. Худож. редактор *М. А. Гусева*. Техн. редактор *Н. В. Лбова*. Корректор *Е. И. Альшевская*.

ИБ № 7755

Сдано в набор 21 10 85. Подписано к печати 18.12 85. Т 24039. Формат бумаги 84×108^{1/32}. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отг. 3,57. Уч.-изд. л. 3,41. Тираж 30 720 экз. Заказ 2302 Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 864201.

Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

1/1986

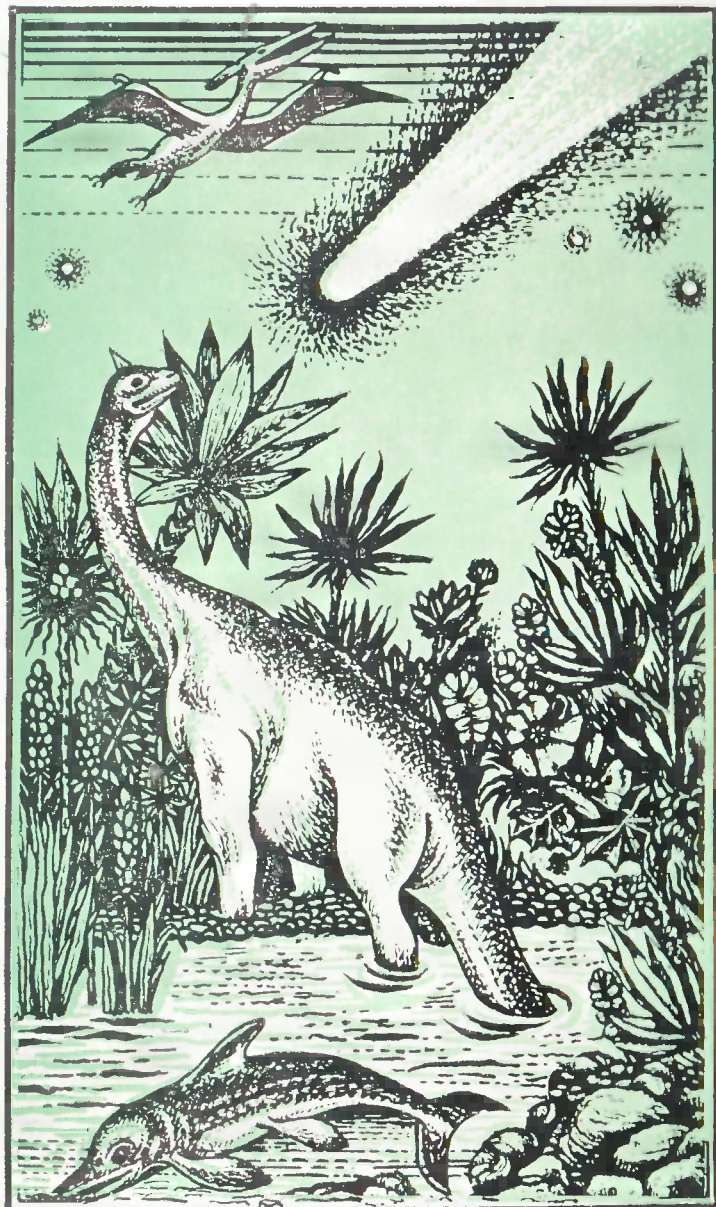
Издается ежемесячно с 1971 г.

Б. М. Владимирский,
Л. Д. Кисловский,
кандидаты физико-математических наук

КОСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ



Издательство «Знание» Москва 1986



СЕРИЯ **КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ**