

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА РОССИИ ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт

Ю.В.Казанцев

Причины различия климатов ЗЕМЛИ, МАРСА и ВЕНЕРЫ



Санкт-Петербург
ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
2001

Показано, что причины различия климатов планет земной группы возникли в эпоху формирования планет, поэтому ни Марс, ни Венера не являются „природными лабораториями“, в которых моделируются возможные пути эволюции климата Земли. Доказывается отсутствие парникового эффекта в атмосферах планет и единственность равновесного состояния климатической системы Земли, что исключает возможность антропогенного воздействия на глобальный климат. Вычислены величины угловых скоростей вращения планет Солнечной системы и объяснена причина наклона их осей. Уточнена схема Коперника. Дано объяснение особенностей атмосферы Венеры, оставшихся непонятными после ее исследования космическими аппаратами.

Книга может быть интересна климатологам, геологам, астрономам, футурологам и политологам, а также всем достаточно любознательным читателям, обеспокоенным будущим нашей неповторимой планеты. Характер изложения делает книгу доступной всем, обладающим знаниями в объеме программы средней школы.

К 1805040500 – 18
069(02) – 01

ISBN 5—286—01413—5

© Дальневосточный региональный
научно-исследовательский институт,
2001 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

В предлагаемой вашему вниманию книге автор в очередной раз доказывает беспочвенность опасений по поводу катастрофического изменения глобального климата в результате антропогенного усиления парникового эффекта вследствие сжигания органического топлива. Он сумел показать, что климат Земли не может измениться ни в сторону климата Венеры, ни в сторону климата Марса. По его словам, глобальный климат был, есть и будет постоянным при неизбежных локальных его изменениях.

При рассмотрении проблем сравнительной планетологии автор вторгся в область науки, достаточно далекую от его научных интересов. Поэтому естественно появление в книге не всегда полностью обоснованных предположений при рассмотрении эволюции жидких оболочек планет, при определении скоростей вращения планет и при выявлении причины отклонения осей вращения планет от нормалей к плоскостям их орбит.

Трудно согласиться с предложенным автором уточнением схемы Н. Коперника, несмотря на довольно убедительные доводы. Несомненно, этот вопрос нельзя считать окончательно решенным.

В то же время книга содержит несколько новых идей, и было бы нерационально скрывать их от научной общественности, за которой и останется последнее слово при оценке содержания этой книги. Поэтому я взял за научное редактирование рукописи книги и рекомендую ее к изданию.

Ю. Н. Волков, канд. физ.-мат. наук

Владивосток, 1 ноября 1999 г.

ОТ АВТОРА

Постоянные предупреждения климатологов о неминуемом катастрофическом изменении глобального климата в сторону климатов Венеры или Марса возымели свое действие: недавно правительства ряда стран обязались осуществлять мероприятия по уменьшению выбросов в атмосферу парниковых газов, поскольку именно парниковому эффекту отводится основная роль в этих предупреждениях. Так теоретические построения климатологов оказались в основе важнейших экономических и политических решений. При этом преднамеренно, как представляется, преувеличивалась значимость выводов той части климатологов (нужно признать, что они составляют подавляющее большинство исследователей этой проблемы), которая, во-первых, признает существование парникового эффекта в атмосфере Земли, во-вторых, уверена в возможности его антропогенного изменения и, в-третьих, считает, что попадание в атмосферу Земли продуктов сгорания органического топлива ведет к необратимому повышению глобальной температуры и перед Землей возникает перспектива стать климатическим двойником Венеры.

В настоящей книге приводятся доказательства некорректности этих трех тезисов.

ВВЕДЕНИЕ

Капризами погоды — будь то наводнение в Сахаре или снег в Бразилии — сейчас никого не удивить. Однако обилие фактов о курьезах погоды, непрерывно пополняемое средствами массовой информации, не дает объективного представления о тенденциях эволюции погоды и климата на Земле в целом и в ее регионах. Объективной оценкой изменений климата занимается климатология. По мнению абсолютного большинства климатологов, глобальная приземная температура повышается.

Для выявления причины повышения приземной температуры нужно было найти какой-либо глобальный процесс с явно выраженной связью с процессом повышения температуры. Таким процессом оказалось увеличение содержания углекислого газа в атмосфере. Хотя этого газа в атмосфере немного — около 350 молекул на миллион молекул воздуха, расчеты климатологов показали, что его роль совсем не пропорциональна его доле в атмосфере. Дело в том, что его молекулы несимметричны, как и молекулы воды. А такие молекулы поглощают излучение поверхности Земли.

Важное свойство атмосферных примесей (углекислый газ и водяной пар можно рассматривать как примеси, так как максимальное количество водяного пара не превышает 0,6 % массы воздуха, и то лишь в самых нижних слоях атмосферы) поглощать инфракрасное излучение помогло климатологам в свое время решить такую дилемму: согласно закону Стефана—Больцмана, мощность солнечного излучения, приходящего к поверхности Земли, равна мощности ее излучения уже при температуре -18°C . Такой была бы температура поверхности Земли в отсутствие атмосферы, говорят климатологи. Следовательно, атмосфера утепляет Землю, повышая температуру ее поверхности на

33 К подобно тому, как это происходит в парниках или теплицах. Повышение температуры, по мнению климатологов, обусловлено как раз поглощением излучения подстилающей поверхности несимметричными молекулами. Это утепляющее действие молекул водяного пара, углекислого газа и других примесей с несимметричными молекулами было названо парниковым эффектом, а сами газы — парниковыми.

Коль скоро столь малые примеси играют такую важную роль в обеспечении условий существования биосферы, ясно, что изменение их содержания в атмосфере будет так же радикально воздействовать на ее температуру. Количество водяного пара не поддается регулированию. Другое дело — углекислый газ. Количество его в атмосфере явно зависит от массы сжигаемого органического топлива. По расчетам климатологов, удвоение его содержания приведет к повышению приземной температуры на 2—3 К, что повлечет за собой не только серьезные климатические изменения, но и катастрофические экономические и, следовательно, политические последствия.

Согласно одним гипотезам, при дальнейшем увеличении содержания углекислого газа в атмосфере температура у поверхности Земли будет неуклонно повышаться, и перед Землей возникает перспектива стать климатическим двойником Венеры, благо что природа провела гигантский эксперимент, создав Венеру с ее поистине адским климатом в назидание землянам.

Существуют гипотезы, согласно которым усиление парникового эффекта приведет к понижению температуры, и может наступить эпоха „белой Земли“, когда земной климат будет похож на антарктический, можно сказать, на марсианский. В общем существуют многие устрашающие сценарии развития земного климата.

Справедливости ради следует отметить, что не все климатологи уверены в возможности изменения парникового эффекта в результате деятельности человечества. Правда, все они уверены в его существовании. И неудивительно: ведь именно благодаря ему климатологи оказались в престижной роли лодманов, указывающих человечеству путь между „Сциллой и Харибдой“, т. е. между климатами Марса и Венеры.

Проблема усиления парникового эффекта в результате выброса в атмосферу углекислого газа, образующегося при сжигании органического топлива (угля, нефти, газа, дров и пр.), стала настолько популярной, что ей уделяют внимание все средства массовой информации. Более того, правительства многих стран обязались проводить мероприятия по уменьшению выбросов в атмосферу парниковых газов, включая фреоны. Ясно, что в скором времени будут введены квоты на количество выбросов парниковых газов той или иной страной, что даст возможность наиболее развитым странам оказывать экономическое (и не только экономическое) давление на страны с отсталыми технологиями под флагом защиты интересов человечества.

Прочитав эту книгу, вы узнаете, что опасения по поводу катастрофических изменений климата Земли в будущем беспочвенны: климат Земли был, есть и будет постоянным вследствие постоянства астрономических факторов климата (параметры орбиты, скорость вращения Земли вокруг своей оси и наклон оси к плоскости эклиптики), а также физико-химических свойств воды и воздуха. Благодаря этому основные параметры климатической системы Земли (в том числе приземная температура и ее вертикальный градиент, облачность и относительная влажность воздуха, температура и соленость океана) останутся неизменными при сохранении мощности солнечного излучения, приходящего к поверхности Земли. Конечно, речь идет об осредненных величинах, и в любом регионе элементы климата будут в общем случае меняться довольно прихотливым образом, сочетающим элементы случайности и детерминированности. Не рассматриваясь, разумеется, различия климатов в разные геологические эпохи (известно, что за последний миллиард лет теплые эпохи трижды сменялись ледниковыми и во время эоценового потепления 55—38 млн. лет назад средняя температура была на 10 К выше современной. Смена этих эпох происходила, по мнению специалистов, вследствие вариаций потока солнечной энергии, приходящей к поверхности Земли, изменений положения и размеров материков и, можно предположить, из-за ускоренного спрединга в рифтовых зонах: как известно, основная часть Мировой рифтовой системы, длина которой достигает 60 тыс. км, возникла почти внезапно, с геологической точки зрения, на рубеже мелового и палеогенового периодов), а также возможные изменения климата в результате глобальных катастроф.

Основная мысль, которую автор хотел бы донести до читателя, такова: Земле не угрожает участь стать климатическим двойником Марса или Венеры. Климат Земли стабилен, и задача человечества — не борьба с усилением парникового эффекта, а предупреждение возможной биосферной катастрофы.

Изложение материала книги построено следующим образом.

В первом параграфе первой главы доказывается термодинамическими методами, что среднее значение равновесной глобальной температуры на уровне океана не может не быть равным 15 °С, а все наблюдаемые отклонения от него в среднем по Земле можно объяснить методологическими ошибками процесса измерения. Здесь же приводится и используется для устранения противоречия между гипотезой о постоянстве средней глобальной температуры на уровне океана и фактическими данными о ее изменчивости полученное автором обобщенное уравнение энергии, учитывающее вращение Земли.

Наибольшие расхождения с позицией абсолютного большинства климатологов содержатся во втором параграфе первой главы, в котором доказывается, что парникового эффекта нет как в атмосфере Земли, так и в атмосферах других планет (впрочем, его нет и в самих парниках). Конечно, температура воздуха понижается по мере удаления от поверхности Земли, но это происходит не вследствие существования парникового эффекта, а благодаря работе расширения воздуха при его подъеме. Так что гигантские проекты по предупреждению негативных последствий усиления парникового эффекта вследствие сжигания органического топлива (в частности, предлагается строить заградительные плотины [71], вводить квоты на выброс парниковых газов, перестраивать технологические процессы, переходить на использование исключительно атомных электростанций и пр.) не имеют достоверного научного обоснования.

В третьем параграфе первой главы рассматриваются особенности климатической системы Земли, не учитываемые в теоретической гидрометеорологии. Доказываются неполнота и некорректность математических моделей атмосферы и океана. Рассматриваются свойства, которые приобретают атмосфера и океан при их объединении в одну термодинамическую систему атмосфера + океан (САО). Показывается, что симметричность, откры-

тость, нелинейность и неравновесность САО при наличии потока отрицательной энтропии делают ее похожей на биологический объект.

Во второй главе выясняется, почему скорости вращения планет различаются по величине и даже по направлению. Мимоходом затрагиваются некоторые вопросы космогонии, необходимые для понимания механизма возникновения вращения. Теоретическим путем получены значения этих скоростей, причем совпадение для планет-гигантов получилось настолько хорошим, что заставляет верить в предлагаемую схему формирования планет как в реальный механизм. Это помогло автору преодолеть сомнение в правильности неожиданного результата: из предложенной им схемы формирования планет следует, что известная всем со школьной скамьи картина движения Земли вокруг Солнца нуждается в корректировке. Но об этом вы узнаете в соответствующем месте книги.

В третьей главе объясняются причины возникновения высокой температуры на поверхности Венеры и сильных ветров на больших высотах в ее атмосфере. Выясняется, почему на Венере нет воды и когда установился современный тепловой режим атмосферы и поверхности Венеры. Даются, таким образом, ответы на вопросы, не решенные целой армией высококвалифицированных исследователей, изучавших Венеру с помощью космических аппаратов стоимостью в миллиарды долларов. Все эти сведения можно получить за письменным столом, если хорошо знать причины формирования климата своей собственной планеты.

Далее в третьей главе показано, что Марс не мог иметь водного океана, следы деятельности которого якобы видны на космических снимках: для этого на Марсе слишком холодно. На Марсе существовал аммиачный океан, который он потерял, как и атмосферу, из-за своей малой массы. Вода на Марсе есть в огромном количестве, но она „не выдавлена“ из недр планеты. Предлагается проект освоения Марса.

И, наконец, в третьей главе показано, что сочетание водного океана, атмосферы с большим молекулярным весом, большой массы планеты и достаточной величины солнечной постоянной обеспечили гармоничное сосуществование атмосферы и океана

как частей одной природной системы, обеспечивающей вместе с Солнцем стабильность параметров климатической системы Земли.

Не все вопросы, рассмотренные в книге, освещены с должной глубиной. Оправданием может служить то, что часть из них подробно рассмотрена в предыдущих монографиях автора. Новизна материала неизбежно, как показывает опыт автора, приводит к появлению неточностей, часть которых выявлена с помощью научного редактора книги Ю. Н. Волкова, внимательно и доброжелательно прочитавшего рукопись.

В процессе работы над книгой автор ощущал поддержку многих сотрудников Дальневосточного научно-исследовательского института. Особую признательность автор выражает А. Ф. Ломакину и Ю. Н. Волкову, дискуссии с которым способствовали повышению научного уровня книги. Хочу выразить благодарность Е. А. Микруковой, в короткий срок превратившей рукопись в четко организованный электронный прототип книги.

Глава 1

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗЕМЛИ

Прежде чем исследовать причины формирования климатов Марса и Венеры, нужно знать причины формирования климата Земли, найти правильные ответы на простейшие, казалось бы, вопросы, на которые специалисты по физике атмосферы и океана, метеорологи, климатологи и океанологи или не дают ответа (а чаще даже не задают себе этих вопросов), или отвечают неправильно. К таким вопросам относятся, например, следующие: почему поднимается воздух, почему постоянен средний градиент температуры тропосферы, почему средняя соленость вод океана равна 3,5 ‰, а средняя температура составляет 3,8 °C, почему постоянна толщина деятельного слоя океана, влияет ли вращение Земли на баланс энергии и т. д.

Причина отсутствия ответов (а иногда даже вопросов) заключается, как представляется, в том, что за время существования теоретической гидрометеорологии в ней накопилось определенное количество догм, частично заимствованных из механики жидкостей и газов вместе с известными дифференциальными уравнениями термогидродинамики (точнее говоря, аэродинамики). Сомнение в истинности этих догм считается, судя по личному опыту автора, своего рода святотатством. Раскрытию существа этих догм автор посвятил монографии [28—32]. В них, в частности, рассмотрена наиболее широко используемая догма — уравнение, связывающее силу, массу и ускорение и неизменно называемое вторым законом Ньютона, хотя И. Ньютон никогда не претендовал на авторство этого закона, тем более в такой упрощенной форме: в его книге [59, с. 40] речь идет о связи силы и изменения количества движения. Упрощенная форма второго закона Ньютона применима лишь в условиях действия принципа относительности Галилея, т. е. при бесконечной скорости распространения области действия силы, например в теоретической

механике, т. е. механике тел при абсолютном нуле температуры. А в жидких и газообразных средах эта скорость приблизительно равна скорости звука в этих средах, и принцип относительности Галилея оказывается неприменимым вместе с упрощенной формой дифференциального уравнения движения.

Такой же популярной является догма о возможности прогнозирования хода природных процессов с помощью дифференциальных уравнений. Ошибка заключается в том, что философская основа математического анализа предполагает существование вездесущего и всеведущего существа, способного по состоянию одной частицы в данный момент времени узнать прошлое и будущее всех частиц. Кстати, это признавали Г. В. Лейбниц, один из основателей математического анализа, П. С. Лаплас и А. Пуанкаре.

Однако наиболее актуальной, активной и опасной оказалась догма парникового эффекта.

Пока специалисты по теоретической метеорологии и климатологии занимались умозрительными построениями с помощью дифференциальных уравнений термогидродинамики, их можно было считать в лучшем случае исследователями, применяющими математические методы для исследования природы. Однако, попав в соответствующие руки, их безобидные уравнения, с помощью которых нельзя предсказать даже погоду на неделю вперед, начинают влиять на правительственные решения. Оказывается, с помощью этих уравнений можно определить изменения климата в ближайшие десятилетия?!

По-видимому, самое время серьезно разобраться в существовании апокалиптических предсказаний о грядущих климатических катастрофах, способных изменить ход мировой истории.

Антропогенному усилению парникового эффекта отводится в этих предсказаниях особая роль. Правда, не все климатологи поддерживают идею глобального потепления в результате антропогенного усиления парникового эффекта (хотя, насколько мне известно, ни один не усомнился в его существовании), и это знаменательно: в науке, явлении явно не демократическом, мнение большинства не рассматривается как закон природы, и существование двух мнений о последствиях усиления парникового эффекта говорит о том, что сущность его пока не раскрыта.

В данной главе описывается механизм возникновения и поддержания наблюдаемого значения приземной температуры и доказывается постоянство ее среднего глобального значения. Кроме того, в ней показано, что парникового эффекта в атмосфере Земли нет и атмосфера не является теплым одеялом, спасающим биосферу от космического холода. Наоборот, она вместе с Солнцем и океаном образует гигантский кондиционер, понижающий температуру до 15°C . Здесь же рассматриваются свойства климатической системы Земли, не учитываемые в теоретической гидрометеорологии. И, наконец, в этой главе затрагиваются (вернее сказать, обозначаются ввиду полной неразработанности этой проблемы) свойства климатической системы Земли, которые пока не используются при исследовании проблем климата, — открытость, неравновесность, нелинейность, симметричность и диссимметричность термодинамической системы, частями которой являются атмосфера и океан.

1.1. Постоянство равновесной глобальной температуры на уровне океана

1.1.1. Значение проблемы изменчивости приземной температуры

Как ни парадоксально, но по мере развития цивилизации сужаются границы интервала температур, пригодных для существования человечества. Имеющегося на Земле запаса продовольствия хватит не более чем на два месяца, и достаточно одного года с достаточно низкой температурой для глобальной катастрофы, однако и длительное повышение приземной температуры приведет к такому же результату. Поэтому естественна потребность в знании направления изменения приземной температуры в течение последующих часов, дней, месяцев и лет.

Хотя изменчивость приземной температуры не хаотична, но она и не периодична [60]: изменения температуры цикличны, т. е. ее колебания не имеют четко выраженных периодов, различны по амплитуде и длительности для данного региона и асинхронны для разных регионов. Циклы колебаний приземной

температуры имеют разную длительность, и наложение этих колебаний создает сложный многоциклический характер изменений температуры. Например, в Арктике в течение XX века температурный режим менялся трижды: в 20-х годах произошло резкое потепление (декабрьская температура во время экспедиций судов „Седов“ в 1938 г. и „Фрам“ в 1894—1895 гг. различалась на 10 К); с 40-х годов температура стала понижаться, а в 70-х годах снова обнаружилась тенденция к потеплению [77].

Особую тревогу вызывают изменения температуры в настоящее время. Серия очень теплых летних сезонов дала пищу для суждений о наступлении глобального потепления. За XX век приземная температура повысилась на 0,7 К, что является рекордом для известной нам истории Земли. Обычно это связывают с деятельностью человечества, хотя палеонтологические данные свидетельствуют о том, что приземная температура существенно изменялась и в то время, когда о влиянии человека на нее не могло быть и речи.

Характерно высказывание М. И. Будыко [6]: „Все без исключения современные национальные и международные научные отчеты по проблеме антропогенного изменения климата содержат хорошо согласующиеся заключения о неизбежности развития глобального потепления, о масштабах этого потепления и о главных формах влияния потепления на биосферу и климат. Такие же выводы содержатся в подавляющем большинстве многих сотен исследований отдельных ученых, занимающихся этой проблемой. Но как в нашей стране, так и в США есть единичные публикации, содержащие возражения против концепции антропогенного потепления. Они отражают неизбежную реакцию более консервативных ученых, которым трудно примириться с коренным изменением ранее общепризнанных представлений о неизменности современного климата“.

Итак, абсолютное большинство — за потепление. А остальные — просто консерваторы.

К числу таких „консерваторов“ относится, например, Х. С. Уиллет, профессор метеорологии Массачусетского технологического института, знаменитый своим правильным предсказанием в 1951 г. понижения температуры на Земле в течение последующих 15 лет [61]. На основании изучения данных о солнечной активности он сделал вывод, что между 2000 и 2030 гг. прои-

зойдет резкое потепление, которое сменится „малым ледниковым периодом“ в 2110—2140 гг. Его коллега Р. Линдзен [82] считает, что за счет парникового эффекта температура повысится не более чем на десятые доли градуса, так как исключительные свойства воды позволяют ей играть роль термостата. Против идеи повышения приземной температуры в результате антропогенного усиления парникового эффекта выступает Е. П. Борисенков.

Как пишет Л. Г. Полозова [60], „по наиболее трезвым оценкам, в настоящее время еще нет убедительных доказательств влияния человеческой деятельности на климат больших территорий земного шара“.

Естественно, что по поводу законов природы не может быть двух мнений. Следовательно, теории изменения приземной температуры не являются выражением какого-то закона природы. Поэтому следует попытаться открыть этот закон, определяющий некоторое значение равновесной глобальной приземной температуры как следствие состава атмосферы и океана и положения Земли относительно Солнца.

1.1.2. Равновесное значение глобальной температуры на уровне океана

Постоянство составов атмосферы и океана (В. И. Вернадский назвал солевой состав океана „характерной постоянной нашей планеты“), а также солнечной постоянной и параметров орбиты Земли позволяет предположить, что существует некоторое равновесное значение средней глобальной температуры на уровне океана, относительно которой происходят циклические колебания. Для ее определения нужно выбрать наиболее общий подход, учитывающий самые существенные свойства климатической системы Земли.

Как известно, за год с поверхности Земли в среднем испаряется слой воды толщиной около 1 м. Скрытая теплота парообразования воды равна 2,4 МДж/кг, что лишь в полтора раза меньше калорийности твердого пороха [1, с. 66]. Образно говоря, энергия, участвующая в процессах испарения и конденсации, равна энергии, которая выделилась бы при сгорании слоя пороха толщиной не менее полуметра на всей поверхности Земли или при

взрыве 5 миллиардов атомных бомб с тротильным эквивалентом 50 килотонн каждая. Кажется очевидным, что именно энергия фазовых превращений воды обеспечивает функционирование климатической системы Земли. Хотя на испарение затрачивается лишь 23 % солнечной энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы, остальные 77 % практически не влияют на функционирование климатической системы Земли, как это наглядно показано на схеме теплового баланса Земли (см. рис. 1.1). Поэтому фазовые превращения воды могут стать основой схемы тепловой машины, заменяющей климатическую систему Земли.

Итак, климатическая система Земли заменяется тепловой машиной, которая работает следующим образом: тепло, подведенное к океану в виде прямого и рассеянного излучения, расходуется на испарение воды. Водяной пар поднимается до уровня конденсации и в виде осадков падает обратно в океан. Здесь присутствуют все элементы тепловой машины: нагреватель — поверхность океана, рабочее тело — водяной пар, холодильник — верхние слои тропосферы. Термодинамический цикл такой тепловой машины описан в работе автора [30].

Строго говоря, использование методов технической термодинамики для изучения тепловой машины, образованной Солнцем, атмосферой и океаном, некорректно, так как атмосфера и океан являются по отдельности и, в особенности, в совокупности нестационарными неравновесными термодинамическими системами, если даже не учитывать того важного факта, что атмосфера и океан получают от Солнца поток отрицательной энтропии. Однако степень отклонения этих систем от стационарного равновесного состояния в первом приближении имеет тот же порядок, что и в тепловых двигателях, термодинамические процессы в которых достаточно точно описываются методами технической термодинамики.

Процессы, происходящие в рассматриваемой тепловой машине, аналогичны процессам в так называемых тепловых трубках, используемых для передачи мощных тепловых потоков. Суть работы тепловой трубки заключается в следующем. Энергия затрачивается на испарение рабочей жидкости на одном конце трубки и выделяется в результате конденсации на другом ее конце. Работа Δl , совершаемая при этом единицей массы рабочего тела, равна [30, с. 32]

$$\Delta l = L \ln (T_0 / T_k), \quad (1.1)$$

где L — удельная теплота парообразования, T_0 — температура жидкости на испаряющем конце трубки, T_k — температура жидкости на конденсирующем конце трубки.

В случае тепловой машины, заменяющей климатическую систему Земли, T_0 будет температурой на уровне океана, T_k — температурой конденсации водяного пара; величина T_k зависит от относительной влажности на уровне океана. При достижении уровня конденсации выделяющаяся теплота вызывает дальнейший подъем влажного воздуха, так что его параметры соответствуют так называемой верхней пограничной кривой (подробнее см. [30, с. 33]). В конечном итоге средняя глобальная температура конденсации будет равна температуре таяния льда, так как понижение температуры, при которой происходит передача тепла от рабочего тела к холодильнику после завершения термодинамического цикла, ниже температуры заморзания воды не влияет ни на величину работы термодинамического цикла, ни на количество отведенного тепла. Хотя вода может находиться в облаках в жидком состоянии при отрицательных температурах, это состояние метастабильно и легко переходит к обычным условиям. Поэтому принимается условие $T_k = 273$ К, хотя возможны отклонения от этого значения в зависимости от местных условий, а также от изменений в климатической системе Земли при воздействии на нее внешних причин.

Можно подойти к рассмотрению работы тепловой машины, заменяющей климатическую систему Земли, с другой стороны. Если бы поверхность океана была покрыта прозрачной диатермической пленкой, непроницаемой для водяного пара, то за год эта пленка поднялась бы на высоту около 1,5 км под воздействием водяного пара. Такой пленки нет, но можно сравнить работу расширения водяного пара с работой поршня, движущегося в цилиндре под действием пара. Работа Δl единицы массы пара равна [30, с. 35]

$$\Delta l = R_{\pi} T_0, \quad (1.2)$$

где R_{π} — газовая постоянная водяного пара. При получении этой формулы учтено, что в момент образования давление водяного пара равно атмосферному.

Если вспомнить, что в описанных двух подходах к работе тепловой машины речь шла об одной и той же единице массы водяного пара, то приравнивание полученных выражений для работы дает связь температуры на уровне океана T_0 с температурой конденсации T_k :

$$T_k = T_0 \exp(-R_{\text{II}} T_0 / L). \quad (1.3)$$

При $T_k = 273$ К средняя равновесная температура нагревателя тепловой машины, заменяющей климатическую систему Земли, будет равна $T_0 = 288$ К. Такой же должна быть температура воздуха (вернее, водяного пара) на уровне океана в предлагаемой модели.

Необходимо сделать следующее замечание: среднее глобальное значение равновесной температуры на уровне океана T_0 определено термодинамическим методом в предположении, что океан покрывает всю Землю. При температуре конденсации $T_k = 273$ К получилось $T_0 = 288$ К. Среднее глобальное значение приземной температуры T_{II} определяется по фактическим данным и из баланса энергии на „осредненной“ поверхности Земли, как это показано в главе 3. Полученное значение составило также 288 К.

По сути дела, это совпадение является случайным и произошло вследствие „удачного“ расположения и размеров материков, современных значений угловой скорости вращения Земли, угла наклона оси вращения к плоскости эклиптики, эксцентриситета орбиты Земли и солнечной постоянной (вернее сказать, плотности потока солнечного излучения, приходящего к поверхности Земли). Поскольку в обозримом будущем эти величины изменяться не будут, не будет нарушаться и равенство $T_0 = T_{\text{II}}$, т. е. будет сохраняться и среднее глобальное значение приземной температуры T_{II} . Реальное распределение приземной температуры отличается от равномерного вследствие существования материков, движений воды и воздуха, формы Земли и отсутствия термодинамического равновесия системы атмосфера+океан.

Итак, глобальная температура на уровне океана равна 15°C безотносительно к составу атмосферы и деятельности человечества. При этом неизбежны отклонения от нее в силу указанных выше причин и автоколебаний в климатической системе Земли.

Локальное значение равновесной температуры на уровне водоема ($T_{\text{л}}$) будет в общем случае отличаться от T_0 . Например, если конденсация происходит при $T_{\text{к}} = 283 \text{ К}$, то $T_{\text{л}} = 298 \text{ К}$. Можно предположить, что эоценовое потепление, во время которого средняя температура была на 10 К выше современной, как раз было связано с повышением температуры конденсации вследствие активизации процесса парообразования при образовании Мировой рифтовой зоны.

Более нагляден следующий пример. Температура воды в оз. Титикака равна 284 К. Оно находится на высоте 3,8 км. Температура воздуха на этой высоте равна, согласно Международной стандартной атмосфере, 263 К. Если принять $T_{\text{к}} = 263 \text{ К}$, то из формулы (1.3) получается $T_{\text{л}} = 283 \text{ К}$, что лишь на 1 К отличается от фактического значения. Эти примеры позволяют расширить область применимости формулы (1.3).

Связь температуры конденсации (в первом приближении ее можно принять равной температуре плавления) и температуры на уровне океана

$$T_{\text{к}} \approx T_{\text{пл}} = T_0 \exp(-R_{\text{п}} T_0 / L) \quad (1.4)$$

получена без использования каких-либо иных сведений, кроме газовой постоянной водяного пара $R_{\text{п}}$ и теплоты парообразования L . Другими словами, эта связь существует на всех планетах, имеющих океан из расплава любого вещества. Значения температуры на уровне некоторых гипотетических океанов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Температура T_0 на границе атмосферы и океана, образованного расплавом вещества с температурой плавления $T_{\text{пл}}$, теплотой парообразования L и газовой постоянной R

Вещество	$T_{\text{пл}}$ К	L МДж/кг	R Дж/(кг · К)	T_0 К
Водород	14	0,45	4125	16
Азот	63	0,20	297	71
Метан	90	0,51	519	100
Аммиак	196	1,37	488	240
Ртуть	234	0,28	42	243
Вода	273	2,50	461	288
Железо	1808	6,34	150	1910

На Титане, спутнике Сатурна, выполняются условия существования океана [9, с. 147]. Поэтому на границе его метанового океана и азотной атмосферы температура должна быть, согласно табл. 1.1, равна 100 К. По данным, полученным космической станцией „Вояджер-1“, температура поверхности Титана равна 93 К [8, с. 149], а по данным станции „Вояджер-2“ она составляет 100 К [44]. Неплохое совпадение результатов, полученных с помощью карандаша и бумаги и с использованием космического корабля! Это доказывает, что описанный способ определения значения равновесной глобальной температуры на уровне океана имеет самостоятельное значение для решения некоторых проблем сравнительной планетологии.

1.1.3. Согласование гипотезы о постоянстве глобальной температуры на уровне океана с фактическими данными

Даже при наличии идеально функционирующей равномерно плотной сети метеостанций оставались бы три основные причины сомневаться в корректности данных о глобальной температуре на уровне океана.

Первая причина заключается в способе осреднения результатов наблюдений. Используемые методы осреднения величины глобальной температуры предполагают однородность географического пространства и календарных промежутков времени, т. е. осреднение проводится с единичными весовыми коэффициентами, хотя очевидно, что, например, в данном пункте средние температуры 20 °С за теплое полугодие и -20 °С за холодное полугодие не эквивалентны средней температуре 0 °С за год. Одинаковые температуры в пустыне и над океаном соответствуют разным характеристикам процессов.

Вторая причина заключается в приведении данных измерений, проводимых на разных высотах, к уровню океана. При этом получают данные о какой-то гипотетической планете, так как процессы, протекающие, к примеру, при замеряемой отрицательной температуре, не эквивалентны процессам при положительной температуре, получающейся при приведении данных к уровню океана.

Существует и третья причина: фактические данные о глобальной температуре даже при идеальном способе осреднения и приведения к уровню океана не соответствуют истинному значению этой температуры. Чтобы понять эту причину, нужно, прежде всего, рассмотреть термодинамические основы измерения температуры.

Скорость воздуха у чувствительного элемента термометра практически равна нулю, чему способствует установка термометров в специальных будках. Таким образом, с помощью термометров, неподвижных относительно земной поверхности, измеряется так называемая температура торможения, т. е. та температура, которая получается при энергоизолированном уменьшении скорости воздуха до нуля. „Истинная“, или статическая, температура, которая фигурирует во всех справочниках и уравнениях, замеряется только в условиях относительного покоя чувствительного элемента термометра и воздуха. Например, на шаре-зонде. Или на паруснике, идущем почти со скоростью ветра (по-видимому, этим можно объяснить то, что до 1900 г. данные наземных станций и судов указывали на противоположные тенденции изменения температуры, а после 1900 г. это различие исчезло).

Конечно, различие между температурой торможения T^* и статической температурой T невелико при обычной скорости ветра, но невелики и изменения глобальной температуры (приблизительно $0,1^\circ\text{C}$ за 10 лет). Это различие становится разительным только при больших скоростях. Например, из-за высокой температуры торможения сгорают метеориты при входе в атмосферу.

Можно отметить, что биосфера реагирует на температуру торможения, и в этом отношении температура торможения важнее статической температуры. Но здесь рассматривается другая сторона этого вопроса.

Фактические данные замеров температуры свидетельствуют о ее изменчивости при любой площади осреднения, включая всю поверхность земного шара. Возникает проблема согласования гипотезы о постоянстве глобальной температуры на уровне океана с данными измерений.

Решение этой проблемы дается обобщенным уравнением энергии [32], в котором учитывается вращение Земли:

$$di + dk + dk_{\text{в}} + gdz - u\Omega R \sin \varphi d\varphi = \delta q_e - \delta l, \quad (1.5)$$

где i — удельная энтальпия воздуха ($i = C_p T$), C_p — удельная теплоемкость при постоянном давлении, T — статическая („истинная“) температура, g — напряженность силы тяжести (ускорение свободного падения), z — вертикальная координата, k — кинетическая энергия поступательного движения, $k_{\text{в}}$ — кинетическая энергия вращательного движения, u — зональная скорость, Ω — угловая скорость вращения Земли, R — радиус Земли, φ — географическая широта, q_e — подводимая (отводимая) теплота, l — работа, совершаемая без изменения объема.

Наземные станции измеряют, как показано выше, температуру торможения T^* , равную

$$T^* \equiv T + k / C_p. \quad (1.6)$$

В масштабе всей атмосферы подвод тепла к атмосфере полностью компенсируется его отводом. Поэтому на величину замеряемой температуры (т. е. температуры торможения) влияют изменения:

- зональных скоростей и их распределения по меридианам,
- работы расширения водяного пара,
- вихревых движений атмосферы,
- положения центра масс атмосферы.

Важно, что изменения замеряемой температуры, т. е. температуры торможения, могут происходить при неизменной „истинной“ (т. е. статической) температуре.

Из выражения (1.5) очевиден набор параметров, подлежащих проверке на корреляцию с замеряемыми величинами глобальной температуры на уровне океана.

Из-за общих для России причин проведена пока лишь проверка связи изменений температуры северного полушария с изменениями циркуляционного режима атмосферы (т. е. с величинами $dk_{\text{в}}$ и $u\Omega R \sin \varphi d\varphi$ из (1.5)).

Оказалось, что существуют корреляционные связи приземной температуры северного полушария [7; 13]:

— с индексами Е. Н. Блиновой за 1949—1967 гг. с коэффициентом корреляции $r = -0,57$ при уровне значимости $P = 5\%$;

— с числом дней в году с мощными антициклонами в азорском максимуме за 1900—1964 гг. [14] с коэффициентом корреляции $r = -0,59$ при уровне значимости менее 1 %;

— с числом дней с западным типом циркуляции атмосферы [10, с. 180—258]. Коэффициент корреляции получился равным $r = -0,49$. При этом критерий проверки нулевой гипотезы (при объеме выборки 49 лет) равен

$$t = r\sqrt{n-2} / \sqrt{1-r^2} = 4,25; \quad (1.7)$$

стандартная величина критерия Стьюдента равна $t_{St} = 3,46$ при двустороннем уровне значимости $P = 0,1$ %, т. е. с вероятностью ошибки менее 0,1 % можно говорить о существовании значимой связи этих величин;

— с числом дней с восточным типом циркуляции атмосферы [10] при коэффициенте корреляции $r = 0,42$.

Известна также высокая степень согласованности хода зональных индексов циркуляции атмосферы и приземных температур [63, с. 173].

1.2. Отсутствие парникового эффекта в атмосфере Земли

1.2.1. Основы теории парникового эффекта несостоятельны

Теория парникового эффекта возникла из такой цепи умозаключений: если бы при альбедо, равном 0,3, остальные 70 % солнечной энергией, поступающей на верхнюю границу атмосферы, поглощались бы абсолютно черной подстилающей поверхностью (ПП), то ее температура, согласно современной теории излучения ПП, была бы равна

$$T_1 = [e_0(1-a) / (4\sigma)]^{1/4} = 288 \text{ К}, \quad t_1 = -18^\circ \text{С}, \quad (1.8)$$

где a — среднее альбедо диска Земли, освещенного Солнцем ($a = 0,3$); e_0 — солнечная постоянная ($e_0 = 1,37 \text{ кВт/м}^2$); σ — постоянная Стефана—Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2$).

Значение -18°C считается той температурой ПП, которая существовала бы без утепляющего действия атмосферы, приводящего к повышению температуры до 15°C . Таким путем, как полагают, атмосфера создает своеобразную теплицу (или парник), поэтому такое действие атмосферы называли тепличным (или парниковым) эффектом.

Парниковый эффект, говорят сторонники рассматриваемой теории, возникает вследствие поглощения излучения ПП несимметричными молекулами, содержащимися в атмосфере в виде примесей. Это, прежде всего, водяной пар и углекислый газ. Массовая доля водяного пара не превышает $0,5\text{--}0,6\%$ [34, с. 390; 51, с. 461], а углекислого газа и того меньше, приблизительно 350 молекул на миллион молекул воздуха. Но предполагаемое их воздействие огромно: они повышают температуру ПП на 33 K . Доля углекислого газа в этом повышении равна 8 K [55, с. 44], а удвоение его содержания привело бы к повышению средней температуры на Земле до 18°C .

Отсюда следуют все прогнозы неизбежного глобального потепления из-за увеличения выбросов в атмосферу парниковых газов. Речь идет, прежде всего, об углекислом газе, так как количество водяного пара не зависит от деятельности человечества. Важную роль может сыграть метан, который будет освобождаться по мере уменьшения зоны вечной мерзлоты в процессе глобального потепления.

По поводу названия „парниковый эффект“ Р. Вуд опубликовал в 1909 г. „Замечание о теории парников“. Ввиду особой важности этого вопроса для рассматриваемой проблемы ниже приводится соответствующее место из [66, с. 132]: „Вуд занялся также опровержением распространенной теории о причинах высоких температур, получаемых в парниках и оранжереях; теория эта попала почти во все учебники и книги, в которых рассматривается этот вопрос. Хорошо известно, что стекло совершенно непрозрачно для большей части солнечного спектра за красной границей, т. е. в области длинных волн. Старая теория считала, что видимый свет и коротковолновая часть теплового излучения проходят сквозь стекло и нагревают землю. Предполагалось, что нагретый грунт при этом сам излучает волны такой большой длины, что они не могут обратно выйти сквозь стекло и, таким образом, оказываются „пойманными“.

Теория Вуда была очень проста: стеклянная крышка пропускает лучи, нагревающие землю, которая, в свою очередь, согревает воздух. Этот теплый воздух заперт в парнике и не может подняться к облакам, как это происходит на открытой земле. Если вы откроете дверь, что станет со старой теорией?

Он доказал свою правоту следующим простым опытом: сделав две коробки из черного картона, он покрыл одну из них стеклянной пластинкой, а другую — прозрачной пластинкой из каменной [поваренной — Ю. К.] соли. В каждую коробку был помещен шарик термометра, и обе были выставлены на солнце. Температура поднялась до 130° Фаренгейта [54°С — Ю. К.], почти в точности на одну и ту же величину в обеих коробках. Каменная соль прозрачна для очень длинных волн [пропускает излучение с длиной волны до 40 мкм — Ю. К.], и, по старой теории, такая крышка не должна была дать эффект оранжереи, т. е. здесь не могли „улавливаться“ солнечные лучи и температура должна быть меньше“.

Кстати, об этой заметке Р. Вуда благожелательно упомянуто в [45, с. 84].

Нет оснований сомневаться в корректности опыта Р. Вуда, физика с мировым именем, хотя Дж. Чемберлен это сделал [76, с. 84]. Правда, тот же Чемберлен пишет: „Я же предпочитаю считать, что атмосфера разогревается за счет парникового эффекта, даже если в самих парниках он отсутствует“ [76, с. 20].

Итак, название „парниковый эффект“ для обозначения предполагаемого утепляющего действия атмосферы некорректно.

Ниже будет показано, что некорректна и сама теория парникового эффекта.

Краеугольным камнем теории парникового эффекта служит формула А. Эддингтона [27, с. 141; 55, с. 43; 76, с. 13]

$$T(\tau) = T_0(1 + 1,5\tau)^{1/4}, \quad (1.9)$$

где τ — оптическая толщина слоя газа, определяемая соотношением

$$d\tau = -\kappa dx, \quad (1.10)$$

κ — коэффициент поглощения излучения на единицу пути в направлении оси X.

Величины $T(\tau)$ и T_0 в теории парникового эффекта истолковываются как глобальная приземная температура при действии парникового эффекта и без него [55, с. 43].

Ниже доказывается неправомочность такого толкования.

А. Эддингтон получил формулу (1.9) при рассмотрении процесса распространения излучения в фотосферах звезд механизмом лучистой теплопроводности. При этом был использован ряд допущений, не применимых для атмосферы Земли:

- поток излучения постоянен по спектру,
- параметры излучающей среды стационарны,
- коэффициент поглощения среды не зависит от длины волны излучения,
- отсутствует конвекция.

Важно отметить, что плотность потока излучения, передаваемого в излучающий слой газа на границе газ—пустота, в этой теории не зависит от состава газа, вернее, от его оптической толщины.

Замена атмосферы Земли фотосферой звезды означает, в частности, отсутствие затрат на испарение ($0,22e_0$), отсутствие отражения солнечного излучения от ПП ($0,07e_0$), а также отсутствие поглощения рассеянного солнечного излучения атмосферой ($0,05e_0$). Эта энергия ($0,34e_0$) должна перейти в форму инфракрасного излучения и в сумме с инфракрасным излучением ПП ($0,36e_0$) составить поток с плотностью излучения $238 \cdot 4 \text{ Вт/м}^2$, т. е. $0,70e_0$. Изменяются и компоненты альбеда: оно будет складываться из отражения рассеянного солнечного излучения ($0,22e_0$), отражения ультрафиолетового излучения Солнца от верхних слоев атмосферы ($0,01e_0$) и поглощения атмосферой ультрафиолетового ($0,03e_0$) и инфракрасного ($0,04e_0$) излучения Солнца.

Представляется, что такая замена приводит к картине, ничего общего не имеющей с реальными условиями в атмосфере Земли. Это ставит под сомнение корректность использования формулы (1.9) для описания процессов в земной атмосфере.

Не нужно упускать из виду, что T_0 в этой формуле — это температура на границе газ—пустота. Механизм лучистой теплопроводности, по-видимому, не может действовать в земной атмосфере, так как это означало бы существование в данной точке разных температур для разных длин излучения.

Можно привести еще один довод в защиту тезиса о неприменимости формулы А. Эддингтона для описания процессов в атмосфере Земли: формула (1.9) явно связывает изменение температуры фотосферы с оптической толщиной, и в слое с постоянной оптической толщиной температура не меняется, в отличие от атмосферы Земли.

Однако, несмотря на указанные несоответствия условий применимости формулы (1.9) условиям в атмосфере Земли, она без каких-либо оговорок используется для обоснования решений по кардинальным проблемам климата Земли.

1.2.2. Решение классической задачи определения распределения температуры в фотосферах звезд неприменимо для атмосферы Земли

Учитывая особую роль формулы А. Эддингтона (1.9) в теории парникового эффекта, ниже воспроизводится путь ее получения по [27, с. 96—141].

А. Эддингтон в 1926 г. первым применил теорию лучистого равновесия (т. е. равенства поглощенной и излучаемой энергии в каждом элементе объема вещества) для разработки теории излучения звезд. Основные принципы этой теории остаются незыблемыми до сих пор, и изучение распределений температуры и поля излучения в фотосферах стационарных звезд является классической задачей, на основе которой построена теория переноса энергии излучением и разработаны методы решения уравнения переноса.

Для решения задачи вводится ряд допущений: вещество неподвижно, процессы стационарны, коэффициент поглощения не зависит от частоты излучения, рассеянием можно пренебречь, энергия переносится только излучением и излучается на границе газ—пустота. Другие допущения будут вводиться в процессе получения основных формул.

Для осмысленного слежения за процессом получения формулы (1.9) следует вспомнить некоторые понятия теории излучения.

Излучение рассматривается как совокупность фотонов, характеризующихся частотой ν электромагнитных колебаний и энергией $h\nu$, где h — постоянная Планка. Поле излучения зависит от ин-

тенсивности излучения по частотам, во времени, в пространстве и по направлениям переноса энергии. Если $f(\nu, \mathbf{r}, \mathbf{i}_\Omega, t) d\nu dV d\Omega$ — число квантов в спектральном интервале от ν до $\nu + d\nu$, находящихся в данный момент времени в элементе объема dV около точки с радиусом-вектором $\mathbf{r}$ и имеющих направление движения в элементе телесного угла $d\Omega$ около единичного вектора $\mathbf{i}_\Omega$, то спектральной интенсивностью I_ν излучения будет называться величина $I_\nu = h\nu c f$, так как каждый квант обладает энергией $h\nu$ и движется со скоростью света c . Ниже спектральное распределение заменяется интегральным по всем частотам вследствие принятого предположения о независимости коэффициентов поглощения от частоты.

Величина $I d\Omega$ — это мощность излучения, проходящего через единичную площадку, помещенную в точке $\mathbf{r}$ перпендикулярно направлению $\mathbf{i}_\Omega$ распространения энергии в элементе телесного угла $d\Omega$.

Плотность излучения U есть энергия излучения, находящегося в данный момент времени в единичном объеме с центром в точке $\mathbf{r}$:

$$U = h\nu \int_{(4\pi)} f d\Omega \equiv \frac{1}{c} \int_{(4\pi)} I d\Omega. \quad (1.11)$$

Если f и I не зависят от направления, то

$$U = 4\pi h\nu f = 4\pi I / c. \quad (1.12)$$

Поток энергии S через единичную площадку, нормаль $\mathbf{n}$ к которой составляет угол θ с направлением движения $\mathbf{i}_\Omega$ квантов, — это величина, равная

$$S = \int_{(4\pi)} h\nu c f \cos \theta d\Omega = \int_{(4\pi)} I \cos \theta d\Omega. \quad (1.13)$$

Формула (1.13) — это выражение для проекции вектора потока энергии на направление $\mathbf{n}$, т. е. сам вектор потока энергии равен

$$S = \int_{(4\pi)} I i_{\Omega} d\Omega. \quad (1.14)$$

Если f и I не зависят от направления (т. е. при изотропном распределении излучения), то $S = 0$.

При прохождении излучения через вещество кванты частично поглощаются и рассеиваются. Если пренебречь рассеянием, то ослабление излучения на пути dx равно

$$dI = -\kappa I dx, \quad (1.15)$$

где κ — коэффициент поглощения, зависящий в общем случае от частоты; в рассматриваемой теории эта зависимость не учитывается.

Величина

$$\tau = \int_0^x \kappa dx \quad (1.16)$$

называется оптической толщиной слоя вещества толщиной x , где x измеряется от границы газ—пустота, т. е.

$$dI = -I d\tau. \quad (1.17)$$

Очевидно, что $I_0 / I = e = 2,71...$ при $\tau = 1$, т. е. интенсивность излучения уменьшается в e раз при прохождении слоя вещества с единичной оптической толщиной.

Если вещество (можно напомнить, что речь идет о фотосферах звезд) находится в состоянии термодинамического равновесия при данной температуре, то поле излучения в стационарных условиях тоже стационарно. В этих условиях, как это следует из распределения М. Планка,

$$U \rightarrow U_p = 4\sigma T^4 / c, \quad (1.18)$$

приток энергии в полусферу равен

$$S_p = \sigma T^4, \quad (1.19)$$

а интенсивность излучения равна

$$I \rightarrow I_p = \sigma T^4 / \pi. \quad (1.20)$$

Мощность излучения, поглощаемого в интервале направлений $d\Omega$ в единице объема, равна $\kappa I d\Omega$, а мощность излучения вещества в этих условиях равна $j d\Omega$, где j — коэффициент излучения, зависящий лишь от частоты и состояния вещества, но не зависящий от наличия излучения, проходящего через вещество.

В состоянии термодинамического равновесия (т. е. при $I = I_p$) испускание и поглощение квантов любых частот и направлений в точности компенсируют друг друга, т. е. выполняется закон Г. Кирхгофа

$$\kappa I_p = j. \quad (1.21)$$

Уравнение переноса излучения получается при рассмотрении баланса излучения в элементарном цилиндре высотой dx с площадью основания F , образующая которого совпадает с направлением i_Ω движения квантов. За время dt в цилиндр входит излучение $I F dt$ (в расчете на единичный телесный угол), а выходит $(I + dI) F dt$, где изменение интенсивности излучения $I = I(x, t)$ равно

$$dI = \frac{\partial I}{\partial t} dt + \frac{\partial I}{\partial x} dx, \quad dt = \frac{dx}{c}. \quad (1.22)$$

Это изменение происходит вследствие излучения вещества (газа) j и поглощения излучения κI :

$$dI = (j - \kappa I) dx, \quad (1.23)$$

или, с учетом (1.21),

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I}{\partial t} + \frac{\partial I}{\partial x} = \kappa (I_p - I). \quad (1.24)$$

В стационарном случае

$$\frac{\partial I}{\partial x} = \kappa (I_p - I). \quad (1.25)$$

Производную по направлению $\frac{\partial I}{\partial x}$ можно записать как

$\mathbf{i}_\Omega \cdot \text{grad } I$ [41, с. 105], поэтому вместо уравнения (1.25) получается уравнение переноса интенсивности излучения в форме, не зависящей от выбора системы координат:

$$\mathbf{i}_\Omega \cdot \text{grad } I = \kappa (I_p - I). \quad (1.26)$$

Если проинтегрировать это уравнение по всем направлениям, то получается уравнение переноса плотности излучения

$$\text{div } \mathbf{S} = \kappa c (U_p - U). \quad (1.27)$$

При его получении учтено, что

$$\int_{(4\pi)} I_p d\Omega = c U_p,$$

$$\int_{(4\pi)} I d\Omega = c U, \quad (1.28)$$

$$\int_{(4\pi)} \mathbf{i}_\Omega \cdot \text{grad } I d\Omega = \text{div } \mathbf{S}.$$

Итак, получено соотношение, связывающее поток и плотность излучения. В одномерном случае оно имеет вид

$$\frac{dS}{dx} = \kappa c (U_p - U). \quad (1.29)$$

Нужно найти еще одно соотношение, связывающее эти величины, чтобы получить замкнутую систему уравнений. Для этого используется то же уравнение переноса излучения (1.26) (мне это кажется некорректным), которое разными приближенными способами (в частности, так называемым диффузионным или шварцшильдовским) сводится к виду

$$S = \frac{c}{\kappa n} \frac{dU}{dx}, \quad (1.30)$$

где $n = 3$ для диффузионного приближения и $n = 4$ для приближения Шварцшильда.

После принятия предположения о существовании локального лучистого равновесия (т. е. при $U = U_p$, что означает постоянство плотности излучения: $S = \text{const}$) получается уравнение

$$S = \frac{c}{n} (dU_p / dr), \quad (1.31)$$

где

$$U_p = 4\sigma T^4 / c, \quad (1.32)$$

т. е.

$$S = \frac{4\sigma}{n} (dT^4 / dr). \quad (1.33)$$

После интегрирования последнего уравнения при следующем граничном условии: при $\tau = 0$ (т. е. на границе газ—пустота)

$$T = T_0, \quad S = 2\sigma T_0^4, \quad (1.34)$$

получается искомая зависимость температуры газа от оптической плотности:

— для диффузионного приближения

$$T = T_0 (1 + 1,5\tau)^{1/4}, \quad (1.35)$$

— для приближения Шварцшильда

$$T = T_0 (1 + 2\tau)^{1/4}. \quad (1.36)$$

Существует и точное решение, согласно которому

$$T = T_0 (1 + \tau\sqrt{3})^{1/4}, \quad (1.37)$$

но оно почему-то не используется в теории парникового эффекта.

Как видно из этого краткого изложения элементов теории переноса излучения в фотосферах звезд, основное уравнение теории парникового эффекта (1.9), во-первых, является одним из вариантов приближенного решения задачи определения распределения температуры газа, а во-вторых, оно не имеет никакого отношения к распределению температуры в земной атмосфере, находящейся под действием сил гравитации при активной роли фазовых превращений воды. Достаточно уяснить, что по уравнению (1.9) температура не меняется, если оптическая толщина среды постоянна. А в атмосферах планет температура уменьшается по мере удаления от поверхности планеты даже в диатермической (прозрачной для излучения) атмосфере.

Следует сделать еще такое замечание: как известно [70, с. 460], плотность потока излучения газов не пропорциональна четвертой степени температуры (например, для углекислого газа показатель степени равен 3,5, а для водяного пара он составляет 3). Кроме того, взаимодействие газов и излучения зависит не только от физических свойств газа и спектральных характеристик излучения, но и от внешних условий. Поэтому рассмотренная выше задача определения распределения температуры в фотосферах звезд решена весьма приближенно, и во всяком случае это решение не может использоваться при рассмотрении проблем глобального климата.

1.2.3. Тепловой баланс Земли можно составить без использования понятия парникового эффекта

В табл. 1.2 приведены составляющие теплового баланса Земли, осредненные по данным [9, с. 157; 47; 75, с. 170; 73, с. 140]. В этой же таблице и на рис. 1.1 даны составляющие теплового баланса, предложенные автором [29, с. 104].

Таблица 1.2

Сравнение составляющих теплового баланса Земли
(в процентах солнечной постоянной) в традиционной (А)
и в предлагаемой (Б) схемах

Составляющие теплового баланса	А	Б
Альбедо	34	30
отражение рассеянного излучения от облаков, дымки и пр.	30	27
отражение солнечного излучения от подстилающей поверхности, уходящее в космос, и отражение ультрафиолетового излучения от термосферы	4	3
Поглощение атмосферой	20	12
Поглощение подстилающей поверхностью	46	47
поглощение прямого излучения Солнца	23	38
поглощение рассеянного излучения Солнца	23	9
Энергия, передаваемая от подстилающей поверхности	147	58
испарением	23	22
излучением	116	36
теплопроводностью в приземный слой атмосферы	8	0
Энергия, передаваемая теплопроводностью в излучающий слой атмосферы	0	70

Принципиальное отличие предлагаемой схемы от традиционной заключается, прежде всего, в том, что в ней поток излучения подстилающей поверхности (ПП) не превышает величину солнечной постоянной. В традиционных схемах для устранения противоречия между излучением ПП, подсчитанным по формуле Стефана—Больцмана ($1,16e_0$), и величиной солнечной постоянной

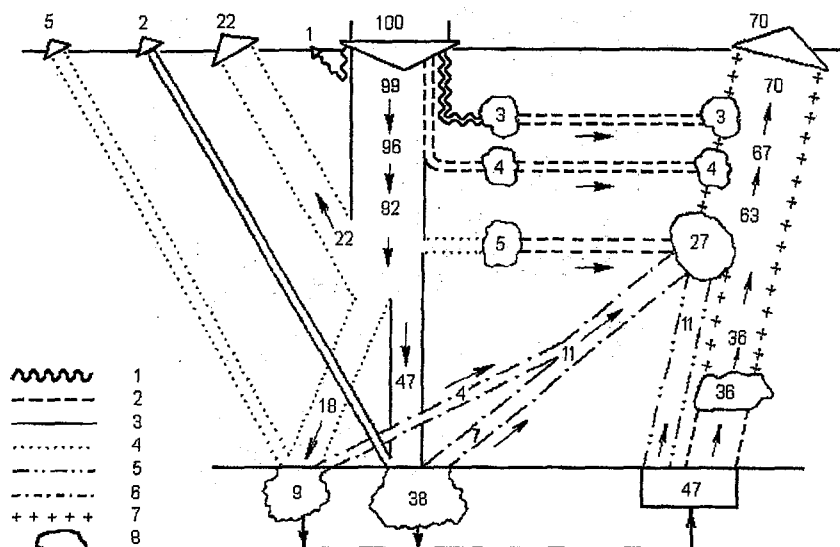


Рис. 1.1. Схема теплового баланса Земли (по [29]).

1 — УФ-излучение, 2 — ИК-излучение, 3 — прямое излучение Солнца в видимом диапазоне, 4 — рассеянное излучение Солнца в видимом диапазоне, 5 — затраты на спонтанное испарение, 6 — затраты на вынужденное испарение, 7 — передача энергии посредством теплопроводности, 8 — поглощение энергии.

ной (e_0) вводится понятие противоизлучения атмосферы, благодаря которому часть потока излучения ПП ($1,0e_0$) возвращается к ПП (рис. 1.2).

Это противоречит второму закону термодинамики, так как возникает возможность получения потока энергии, превышающего первичный поток. Особенно ясно это видно при учете квантовой природы излучения.

Для устранения этого противоречия нужно более подробно рассмотреть процесс передачи энергии излучения от ПП к выбранной площадке в атмосфере. Насколько мне известно, решения этой задачи в литературе нет. Поэтому ниже рассматривается простейшая модель этого процесса, когда ПП заменяется плоским ламбертовым излучателем, а получающая излучение площадка параллельна ПП и отделена от нее диатермической средой

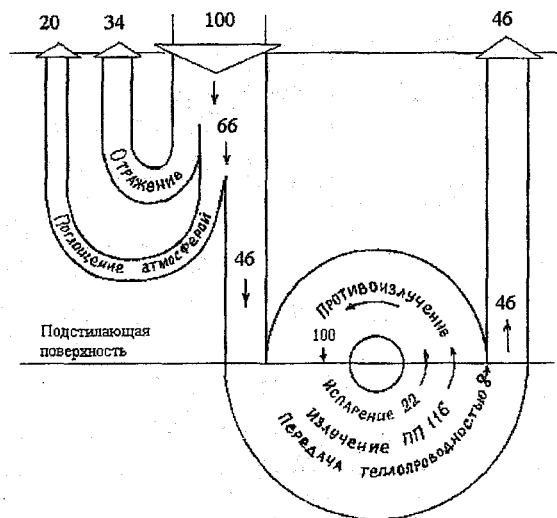


Рис. 1.2. Традиционная схема теплового баланса Земли.

(рис. 1.3). Не учитывается и рефракция излучения, т. е. используются только представления геометрической оптики.

Мощность излучения площадки dF_2 , проходящего через площадку dF_1 , равна

$$I \cos \alpha d\Omega dF_2.$$

Здесь I — интенсивность излучения, $I = I_N \sin \alpha$ вследствие ламбертова характера излучения;

I_N — нормальная к площадке dF_2 интенсивность излучения, для ламбертова излучателя $I_N = q_{\text{С-В}} / \pi$;

$$dF_2 = 2\pi H r \cos \alpha \operatorname{tg} \alpha d\alpha;$$

$q_{\text{С-В}}$ — мощность излучения единичной площадки в полусфере; согласно закону Стефана—Больцмана, $q_{\text{С-В}} = \varepsilon \sigma T^4$;

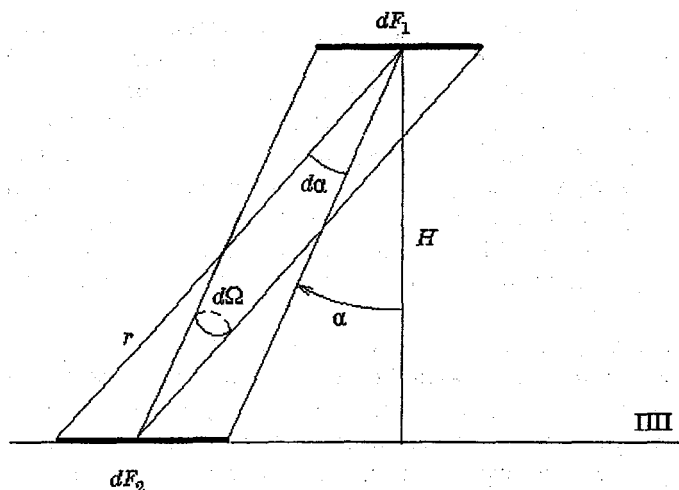


Рис. 1.3. Схема обмена излучением между подстилающей поверхностью и площадкой в атмосфере (по законам геометрической оптики).

ε — коэффициент излучения; для ПП $0,85 < \varepsilon < 0,99$ [34, с. 209];

$d\Omega$ — телесный угол, под которым видна площадка dF_1 с площадки dF_2 :

$$d\Omega = \frac{\cos^3 \alpha}{H^2} dF_1.$$

Таким образом, мощность излучения бесконечного плоского ламбертова излучателя, попадающего на площадку dF_1 с площадки F_2 , равна

$$E = \int I \cos \alpha d\Omega dF_2 = \frac{\pi}{8} \varepsilon q_{\text{С-В}} dF_1. \quad (1.38)$$

При температуре ПП $T_{\text{ПП}} = 288 \text{ К}$ и относительном коэффициенте излучения $\varepsilon = 0,9$ на горизонтальную единичную пло-

падку в диатермической атмосфере поступало бы излучение мощностью 133 Вт/м^2 , т. е. в расчете на площадь диска Земли 532 Вт/м^2 , а не 1560 Вт/м^2 , как в традиционной схеме. Такое уточнение позволяет отказаться от понятия противоизлучения: вместо излучения $1,16e_0$ и последующего возвращения $1,02e_0$ ПП отдает излучением $0,36e_0$. Однако малая разность температур ПП и приземного слоя воздуха сводит на нет эффективность процесса излучения [70, с. 438]. Эффективным механизмом передачи тепла в излучающий слой атмосферы является теплопроводность.

Обычно считается, что теплопроводность газов очень мала. Однако метеорологи не пренебрегают теплопроводностью. Так, в [75, с. 84] написано: „Кроме того, она [атмосфера — Ю. К.] получает тепло от земной поверхности путем теплопроводности, а также при испарении и последующей конденсации водяного пара“. По-видимому, предполагается, что тепло, поставляемое посредством теплопроводности, сравнимо с теплом конденсации. В [76, с. 43] сказано: „При положительном градиенте температуры, предотвращающем конвекцию, и при не очень эффективном обмене теплом за счет излучения основной перенос энергии в нижней термосфере осуществляется теплопроводностью“.

Естественно предположить, что теплопроводность газов мала из-за трудности поддержания в них достаточно большого градиента температуры. В тропосфере вертикальный градиент температуры в среднем равен $6,5 \text{ К/км}$, что позволяет теплопроводности стать эффективным механизмом передачи тепла от ПП к излучающему слою атмосферы.

Нужно отметить, что современная теория теплопроводности представляет собой старинную теорию теплорода, замаскированную новыми терминами. В ее основе лежит основной закон теплопроводности

$$q = -\lambda \text{ grad } T, \quad (1.39)$$

полученный Ж. Б. Ж. Фурье в 1820 г. Легко увидеть, что это выражение аналогично записи известного закона Ж. М. Л. Пуазейля (1840 г.) $Q \sim \text{grad } p / \mu$, согласно которому, секундный объемный расход Q вязкой жидкости пропорционален градиенту дав-

ления $\text{grad } p$ и обратно пропорционален коэффициенту вязкости жидкости μ (если заменить Q на поток тепла q , $\text{grad } p$ — на градиент температуры $\text{grad } T$, а $1/\mu$ — на коэффициент теплопроводности λ). Интересно отметить, что в выражении (1.39) поток тепла не зависит от толщины стенки. Известное каждому из повседневной практики явление уменьшения градиента температуры при увеличении коэффициента теплопроводности позволяет предположить, что выражение (1.39) является тождеством.

Описание процесса теплопроводности без использования понятия теплорода дано в [29], где доказано, что тепловой баланс Земли поддерживается в основном с помощью процесса теплопроводности, интенсивность которого определяется температурой газа, разностью температур на участке передачи тепла и теплоемкостью газа. В рамках такого представления нет места „захвату“ излучения ПП атмосферой и его следствию — парниковому эффекту. В этом состоит второе отличие предлагаемой схемы теплового баланса Земли от традиционной.

1.3. Свойства климатической системы Земли, не учитываемые в теоретической гидрометеорологии

1.3.1. Неполнота и некорректность математических моделей атмосферы и океана

Выше рассмотрены две самые актуальные, самые спорные и самые политизированные проблемы климата Земли — проблема изменчивости глобальной температуры и связанная с ней проблема антропогенного усиления парникового эффекта. Было показано, что эти проблемы возникли из-за недостаточно ясного понимания механизма функционирования климатической системы Земли (КСЗ).

Такая же неполнота знаний обнаруживается при анализе математических моделей атмосферы и океана.

Причина этого состоит в том, что теоретическая база гидрометеорологии заимствована из аэродинамики вместе со всеми ее недостатками. В частности, в аэродинамике не учитывается, что

классические теоремы Кельвина, Стокса, Гельмгольца и др. получены для несжимаемых сред в стационарных условиях, а все теоремы, связанные с основными понятиями аэродинамики (циркуляция скорости, завихренность и пр.), имеют кинематический характер и не связаны с законами сохранения массы, энергии, количества движения и момента количества движения. Это было приемлемо при рассмотрении несжимаемых жидкостей, но неприемлемо при рассмотрении движения газов. Основополагающая теорема Остроградского—Гаусса используется без учета того, что она неприменима для нестационарных процессов. Основное уравнение динамики — дифференциальное уравнение движения — взято из теоретической механики, т. е. механики тел при абсолютном нуле температур. При этом не учитывается, что газы — сплошные сжимаемые среды. Нет и уравнения, учитывающего изменение момента количества движения как самостоятельного параметра, отражающего свойство изотропности пространства, а не как следствия изменения количества движения, как это следует из его названия.

При заимствовании уравнений аэродинамики, которые получили в теоретической гидрометеорологии название „дифференциальных уравнений термогидродинамики“, не было учтено, что огромные массы воздуха и воды существуют именно на Земле. Это, в частности, означает, что помимо „внутренних“ законов движения атмосферы и океана в отдельности существуют законы совместного функционирования этих сред, к тому же находящихся на сфероидальной вращающейся планете, получающей модулированный (вследствие вращения Земли) поток низкоэнтропийной энергии.

Даже очевидные свойства Земли — ее форма и вращение — не учитываются в уравнениях термогидродинамики в должной степени. Например, сферическая модель Земли считается наиболее сложной и близкой к действительности. На самом деле Земля даже в грубом приближении является сфероидом, и использование сферической модели означает неявное введение дополнительных сил.

Для иллюстрации ниже приводятся уравнения движения частицы вблизи поверхности Земли, в которых учтена сфероидальность Земли [31, с. 65]:

$$\begin{aligned}
& \frac{dW_n}{dt} - \frac{W_\tau^2 + \alpha W_n^2}{R} (1 + 2\alpha \operatorname{ctg} 2\theta) - \\
& - W_\lambda \frac{W_\lambda + 2\Omega R \sin \theta}{R} (1 - \alpha \operatorname{ctg} \theta) = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + \tau_n, \\
& \frac{dW_\tau}{dt} + \frac{\alpha}{R} [W_n^2 (2 \operatorname{ctg} 2\theta - \alpha) + 2W_\tau^2 \operatorname{ctg} 2\theta] + \\
& + \frac{W_n W_\tau}{R} (1 - 2\alpha \operatorname{ctg} \theta) - \\
& - \frac{W_\lambda}{R} (\alpha + \operatorname{ctg} \theta) (W_\lambda + 2\Omega R \sin \theta) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \tau} + \tau_\tau, \quad (1.40) \\
& \frac{dW_\lambda}{dt} + W_\tau (2\Omega \cos \theta + \frac{W_\lambda}{R \operatorname{tg} \theta} + \frac{\alpha W_\lambda}{R} + 2\alpha \Omega \sin \theta) + \\
& + W_n (2\Omega \sin \theta + \frac{W_\lambda}{R} - \frac{\alpha W_\lambda}{R \operatorname{tg} \theta} - 2\alpha \Omega \cos \theta) = -\frac{1}{\rho R \sin \theta} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + \tau_\lambda,
\end{aligned}$$

где W_n , W_τ , W_λ , τ_n , τ_τ , τ_λ — нормальная к поверхности сфероида, касательная к поверхности сфероида и зональная компоненты скорости частицы и напряженности силы трения соответственно; R и Ω — радиус и угловая скорость вращения Земли; θ — дополнение до географической широты.

В этих уравнениях учтено, что

$$\alpha^2 \equiv (a \sin 2\theta / R)^2 \ll 1, \quad (1.41)$$

где $a = R_\circ - R_\Pi$ — разность экваториального и полярного радиусов земного сфероида.

Вращение Земли учитывается только введением силы Кориолиса. А ведь эта сила — лишь один из четырех эффектов, возникающих вследствие вращения Земли (создание линейной скорости точек поверхности Земли, что учитывается при запуске спут-

ников; усиление действия закона сохранения момента количества движения; нарушение изотропности пространства вблизи поверхности Земли, вследствие чего одни направления движения оказываются энергетически более выгодными, чем другие; и, наконец, возникновение силы Кориолиса, учитывающей неинерциальность системы координат, связанной с поверхностью Земли).

Испарение рассматривается лишь как источник осадков, что совсем не соответствует основополагающей роли водяного пара в функционировании климатической системы Земли: ведь только водяной пар создает восходящие вертикальные потоки воздуха; благодаря фазовым превращениям воды возникают и существуют циклоны и ураганы; именно испарение создает активный слой океана, а работа расширения воды от жидкого состояния до газообразного уменьшает вертикальный градиент температуры по сравнению с его сухадиабатическим значением, обеспечивая этим возможность возникновения струйных течений и вихревых каркасов циклонов. Наконец, водяной пар, регулируя альбедо и совершая работу расширения, создает на Земле температурный режим, пригодный для существования биосферы.

Не учитывается и роль процесса изменения солености вод океана, совершенно аналогичная роли водяного пара в атмосфере.

Но есть свойства атмосферы и океана, вернее, термодинамической системы атмосфера+океан (САО), которые существуют в скрытой для исследователей форме. Эти свойства будут рассмотрены в следующем разделе.

1.3.2. Термодинамическая система атмосфера+океан как квазибиологический объект

Традиционный метод изучения климатической системы Земли (КСЗ) путем исследования отдельных процессов (испарения, излучения, растворения солей, выпадения осадков, перемещения частиц, изменения температуры воды и воздуха и пр.) не всегда оказывается верным, поскольку КСЗ состоит из большого числа сложных объектов, взаимодействие которых порождает новые особенности поведения атмосферы и океана, не свойственные им в отдельности. Простейший пример — взаимосвязь вертикального градиента температуры тропосферы, количества об-

лаков, скорости испарения с поверхности океана и работы расширения водяного пара [30, с. 66]. Объекты воздействуют друг на друга, иногда по хорошо различаемой цепочке причинно-следственных связей. В этом случае говорят о существовании обратной связи, хотя такое использование термина „обратная связь“ неправильно [54, с. 164]. В результате даже простые объекты, поведение которых в отдельности точно описывается уравнениями, при объединении обнаруживают стремление к хаотическому поведению, точнее, к детерминированному хаосу. Ясно, что объединение объектов, поведение которых нельзя точно описать с помощью дифференциальных уравнений (а атмосфера и океан, как показано автором [32], как раз являются такими объектами), должно привести к полному хаосу. Применительно к КСЗ это означает, что объединение атмосферы и океана в единую термодинамическую систему атмосфера+океан (САО) должно привести к абсолютной неупорядоченности изменения их параметров. В этом случае нельзя было бы говорить о понятиях „погода“ и „климат“. Однако биосфера на Земле существует миллиарды лет, и изменения погоды и климата по климатическим поясам и временам года без труда различаются, хотя и существуют отклонения от нормы, порой значительные. Значит, есть какие-то свойства КСЗ, которые противостоят хаосу.

Может быть, следует отметить, что элементы случайности в поведении САО возникают не только вследствие воздействия внешних случайных факторов и не из-за неточности определения начальных условий или неполноты знания механизмов процессов. Непредсказуемость поведения САО обусловлена объединением в одну систему многих объектов, индивидуальное поведение которых не всегда устойчиво.

Поиск свойств КСЗ, противостоящих хаосу, естественно начать с нахождения элементов упорядоченности. Конечно, „человеческий разум легко предполагает в вещах больше порядка..., в то время как многое в природе единично“ [8, с. 20], но есть очевидные признаки упорядоченности в поведении и структуре САО. Первым признаком упорядоченности является периодичность — пространственная (симметрия) и временная (циклическость).

По сути дела периодичность — это восстановление исходного состояния, осуществляемое, как отмечено 75 лет назад А. А. Бог-

дановым [4, с. 78], с помощью колебаний и волн, которые, в свою очередь, представляют собой проявления вращательного движения. Вращательное движение в САО совместно с вращением Земли является одним из главных факторов, противодействующих хаосу. Оно обладает важными свойствами. Во-первых, оно является способом периодического воздействия на окружающую среду, возбуждая в ней колебания, в общем случае нелинейные. В окружающей среде могут возникнуть даже автоколебания вследствие ограниченной скорости передачи возмущений параметров среды. Этот факт хорошо известен тем, кто занимался исследованием нелинейных систем с запаздыванием сигналов возмущений [33, с. 300]. Во-вторых, вращательное движение практически неуничтожимо, поэтому оно сохраняет информацию о движении, благодаря чему процессы в САО приобретают элементы упорядоченности. В-третьих, вращательное движение часто связано с завихренностью, что в совокупности со сплошностью этих геосфер приводит к образованию и сохранению сложных вихревых структур (примерами таких структур могут служить разнообразные вихри в атмосфере и в океане; особой сложностью отличаются смерчи и тропические циклоны [28]). Кроме того, вихри могут индуцировать вихреподобные структуры (пример таких индуцированных образований — „зеркальные“ течения в океане, возникающие при стационарировании тропических циклонов; по-видимому, к ним можно отнести так называемые цепочки циклонов).

Цикличность гидрометеорологических процессов, явно связанная с цикличностью астрономических явлений, представляет собой главный объект исследования ученых соответствующих специальностей. Но пространственная периодичность (симметрия) пока не привлекает их внимания, хотя она явно прослеживается в симметрии движений атмосферы и океана. Симметрия важна уже тем, что она уменьшает число возможных состояний системы. Вероятно, с ней связана приуроченность районов наиболее частого возникновения синоптических вихрей к некоторым точкам земной поверхности. По замечанию П. Кюри, симметрия является состоянием пространства. В. И. Вернадский уточнил эту мысль, назвав симметрию структурой пространства. По-видимому, симметричная структура пространства весьма сложна, иначе как можно объяснить, к примеру, образование симметричной снежинки, содержащей порядка 10^{19} молекул воды.

Открытость САО (т. е. существование обмена энергией между САО и окружающим пространством), ее нелинейность (т. е. зависимость характера протекания процессов от величин параметров, определяющих этот процесс) и неравновесность (т. е. существование САО в условиях, далеких от состояния ее равновесия) вынуждают САО балансировать на грани устойчивости, так как, с одной стороны, для поддержания стабильности в САО должны существовать отрицательные обратные связи. Однако при наличии только отрицательных обратных связей невозможна эволюция САО. То же можно сказать о неравновесности: она необходима для протекания процессов, но слишком высокая степень неравновесности может перевести САО в другое устойчивое состояние. Впрочем, как будет показано ниже, такая опасность для САО не является реальной.

По-видимому, особое значение для функционирования САО имеет ее диссимметрия (этим термином П. Кюри обозначил отсутствие некоторых элементов симметрии). Она выражается, например, в неодинаковой продолжительности процессов замерзания и таяния льда в водоемах, в различии пространственных и временных параметров процессов испарения и выпадения осадков, в неодинаковых размерах меридиональных ячеек циркуляции в атмосфере и в океане, в различии частот квантов, получаемых и излучаемых Землей, и т. д. Диссимметрия САО (точнее говоря, климатической системы Земли), нарушая симметрию прошлого и будущего и обеспечивая необратимость процессов, т. е. эволюцию системы в соответствии с принципом минимума диссипации энергии [54, с. 42], выводит таким путем эту систему из области действия классической механики. Возникающая при этом энтропия компенсируется притоком отрицательной энтропии в системе Солнце—Земля—космос. В итоге совместно со свойствами открытости и нелинейности САО становится так называемой диссипативной системой, т. е. при большом отклонении ее от состояния равновесия в ней могут создаваться устойчивые сложные структуры. Эти структуры довольно подробно рассмотрены в [28—32].

Важным фактором эволюции биосферы является приток отрицательной энтропии. Его наличие — одно из трех условий способности системы к самоорганизации (кроме него, еще неравновесность и нелинейность [58, с. 442]). Важнейшая роль энтропии

в возникновении и поддержании жизни на Земле отмечена 100 лет назад Л. Больцманом [20, с. 255]. Роль энтропии в биологических процессах рассматривали К. А. Тимирязев, В. И. Вернадский, Н. А. Умов, Э. Шредингер. Но роль энтропии в гидрометеорологических процессах остается невыясненной, хотя именно она, по-видимому, определяет некоторые особенности процессов в САО, а не „отрицательная вязкость“, „суперротация“ и другие объяснения недостаточной эффективности гидродинамических методов прогнозов.

Как показано в [16, с. 19; 31, с. 106], в вертикальном столбе атмосферы с площадью поперечного сечения 1 м^2 ежесекундно генерируется 1 Дж/К отрицательной энтропии. Именно этот поток отрицательной энтропии создал из кучи метеоритов планету с устойчивым климатом, а из простейших молекул миллионы видов растений и животных.

Из изложенного можно сделать вывод, что САО не является простой совокупностью двух сред. Она способна к самоорганизации, к созданию сложных структур из хаоса, т. е. она действует вопреки второму закону термодинамики. Это позволяет, используя выражение А. А. Богданова [4, с. 113] „организм — это целое, которое больше суммы его частей“, причислить САО к квазибиологическим объектам.

Однако способность САО к самоорганизации не исключает в принципе возможность ее перехода из одного устойчивого состояния в другое, на что указывают некоторые климатологи. Сохранение единственного устойчивого состояния САО обеспечивается постоянством основных параметров климатической системы Земли (КСЗ).

В книге автора [30] показано, что в САО постоянны вертикальный градиент температуры тропосферы ($6,1 \text{ К/км}$), относительная влажность на уровне океана (89 %), облачный покров (58 %), соленость океана (3,5 %), температура вод океана ($3,5^\circ\text{C}$) и толщина деятельного слоя океана (около 200 м). Постоянство основных параметров САО вместе с описанными выше свойствами симметричности, цикличности, нелинейности, неравновесности и открытости обеспечивают почти детерминированное поведение КСЗ.

Очевидно, что отсутствие достаточно полного понимания механизма действия КСЗ не позволяет в полной мере использовать знания о ней для исследования климатических систем других планет. Наиболее дорогостоящее доказательство этого — отсутствие четкого представления о механизме функционирования климатической системы Венеры после ее исследования с помощью почти двух десятков космических станций.

1.3.3. О некорректности методологических основ применения дифференциальных уравнений для прогнозирования гидрометеорологических процессов

Отсутствие понимания неполноты математических моделей атмосферы и океана привело гидрометеорологов к представлению об уравнениях термогидродинамики как о единственно надежном инструменте познания законов функционирования КСЗ, а способность современных ЭВМ рисовать картинки, похожие на синоптические карты, уверила их в возможность прогнозировать изменения не только погоды, но и климата путем численного интегрирования дифференциальных уравнений термогидродинамики. При этом они не вспомнили о том, что дифференциальные уравнения, как и их база — дифференциальное и интегральное исчисление — построены на телеологическом принципе „предустановленной гармонии“, впервые сформулированном Г. В. Лейбницем. По его словам, „...если в одной формуле высшей характеристики выразить какое-либо существенное для универсума явление, то в такой формуле можно будет прочесть последующие, будущие явления во всех частях универсума и во все строго определенные времена... Нет в мире явления, противоречащего этому великому принципу...“ [49, с. 212]. Этот принцип нашел свое воплощение в математическом анализе, одним из создателей которого был Лейбниц. Действительно, достаточно знать значение аналитической функции и ее производных в данной точке, чтобы восстановить функцию на всей числовой оси, будь эта ось пространственной или временной координатой.

Почти так же рассуждал П. С. Лаплас: „Разум, который в момент времени знал бы все силы, действующие в природе, если бы он был к тому же достаточно велик, чтобы подвергнуть эти дан-

ные анализу, мог бы обобщить в единой формуле движения самых больших тел вселенной и легчайших атомов: ничто не осталось бы для него неопределенным, и будущее, как и прошедшее, предстало бы перед его взором“ [48].

А. Пуанкаре довольно скептически относился к ученым, явно преувеличивавшим роль математики в изучении явлений природы: „...я уже не знаю, как можно позволить себе увлечься до того, чтобы сказать, что мир есть не более как дифференциальное уравнение“ [62, с. 276]. Однако и он не смог критически относиться к возможности описания природных процессов с помощью математического анализа: „Всякое явление, сколь бы оно ни было незначительным, имеет свою причину, и бесконечно мощный дух, беспредельно осведомленный в законах природы, мог бы его предвидеть с начала веков“ [62, с. 321]. „Спрашивается, что такое закон? Закон — это постоянная связь между предыдущим и последующим... совокупность законов равносильна системе дифференциальных уравнений...“ [62, с. 408]. „...Изменение мира можно представить аналитической кривой“ [62, с. 419].

Эта методологическая ошибка совершается не только в гидрометеорологии и климатологии. Повсеместно в математизированном естествознании всегда явно или неявно предполагается, что процессы материального мира описывались бы аналитическими функциями, если бы этому не препятствовали элементы случайности вследствие большого числа частиц, участвующих в процессах, ограниченность точности измерения начальных состояний частиц (согласно принципу неопределенности В. Гейзенберга) и неустойчивость движения, ведущая к неоднозначности решений.

Первым, насколько известно автору, на неполноту описания материального мира с помощью аналитических функций обратил внимание математической общественности профессор Московского университета Н. В. Бугаев, президент Московского математического общества в 1891—1903 гг. [67], который, в частности, писал, что непрерывность объясняет лишь часть мировых событий, а аналитические функции, непосредственно связанные с непрерывностью, применимы лишь к объяснению простейших случаев жизни и природы.

Это принципиально важное высказывание Н. В. Бугаева особенно актуально сейчас, когда всеобщее преклонение перед математикой и вычислительной техникой достигло критического

уровня. Пора, наконец, осознать, что аналитическая функция, т. е. редко достигаемый идеал математического изучения природы с помощью дифференциальных уравнений, может описывать лишь либо статическое состояние, либо стационарный или циклический процессы.

Действительно, если бы процессы в атмосфере или в океане можно было описать в виде решений дифференциальных уравнений, то можно было бы легко обойтись без трудоемкой процедуры поиска этих решений. Достаточно было бы измерить изменение выбранного параметра в течение некоторого промежутка времени, а затем по этой реализации восстановить аналитическую функцию с необходимой точностью. Эта функция описывала бы изменение данного параметра в прошлом и будущем.

Очевидно, что такая процедура не может дать желаемого результата.

В заключении этой главы можно сказать, что климатические системы Венеры и Марса проще КСЗ. Поэтому особенности климатов этих планет могут быть объяснены на основе знания законов формирования и функционирования нашей планеты (обычно, наоборот, необходимость изучения других планет обосновывается возможностью использования результатов исследований для решения проблем климата Земли).

Глава 2

ПЕРВАЯ ПРИЧИНА РАЗЛИЧИЯ КЛИМАТОВ — РАЗНЫЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТ ВОКРУГ СВОИХ ОСЕЙ

Очевидно влияние угловой скорости вращения (УСВ) планет относительно своих осей на климат планет. Поэтому космологическая проблема возникновения УСВ и Солнца, которая всегда была „особенно важным для астрономов вопросом“ [18, с. 240], имеет также большое климатологическое значение. Однако астрономы до сих пор окончательно не разрешили эту проблему. Она даже не рассматривается в работах, посвященных вращению Земли (см., например, [24; 46; 52]). Ближе всех к ее решению подошел О. Ю. Шмидт, неастроном. „Вращение планет вокруг своей оси, которое ни одна из прежних теорий не могла объяснить, теория О. Ю. Шмидта объясняет так: под влиянием падения метеоритов на планету она должна прийти во вращение, и притом именно в том направлении, в каком она вращается вокруг Солнца... В успешном объяснении направления вращения планет теорией О. Ю. Шмидта состоит ее большая заслуга“ [17, с. 669].

Насколько известно автору, никто не сомневается в правильности кинематической схемы Солнечной системы (СС), в соответствии с которой орбитальное движение планет, вращение планет и Солнца происходят против часовой стрелки (исключение составляют Венера и Уран).

Для того чтобы иметь более ясное представление о существе полученного автором решения рассматриваемой проблемы, целесообразно ознакомиться с его гипотезой эволюции СС. Предлагаемая гипотеза основана на представлении о том, что в результате действия сил тяготения и инерции межзвездное вещество непрерывно распределялось между „частицами“ (под этим термином ниже понимаются планеты, астероиды, метеориты, кометы, частицы пыли, молекулы и атомы). Этот процесс имеет положительную обратную связь, т. е. чем больше становится масса частицы,

тем быстрее она растет. Поэтому процесс увеличения массы частиц имел экспоненциальный характер.

Процессу аккумуляции частиц препятствуют силы инерции, в данном случае центробежные силы, стремящиеся сохранить расстояния между частицами. Эти силы возникают вследствие вращательного движения частиц.

Более 4/5 наиболее ярких галактик относятся к спиральному типу [72], т. е. они обладают моментом количества движения (МКД) вследствие своего вращения. Наша Галактика делает один оборот приблизительно за 200 млн лет.

Пространственные и временные масштабы космических процессов позволяют рассматривать вещество в спиральных рукавах галактик как сплошную среду, отличающуюся от „земных“ сплошных сред особой ролью силы тяготения, т. е. к этому веществу применимы все законы, описывающие поведение сплошных сред, в том числе и теорема Стокса о связи циркуляции скорости и напряженности вихря. Поэтому любой объем Галактики в „момент“ обособления от нее имеет одну и ту же УСВ ω_0 , равную УСВ Галактики, т. е. $\omega_0 = 2\pi/200$ млн лет $= 1 \cdot 10^{-15}$ с $^{-1}$.

Частицы обособившегося объема межзвездного вещества („протооблака“, по специальной терминологии), в общем случае, сохраняют свой МКД, т. е. в процессе формирования СС для каждой планеты сохраняется своя величина МКД L_i :

$$L_i = \omega_0 R_{0i}^2 = \omega_i R_i^2,$$

где R_{0i} — радиус орбиты планеты (вернее, ее „зародыша“, по специальной терминологии) в момент ее включения в состав СС, т. е. в момент начала ее движения по окосолнечной орбите (ниже все орбиты планет предполагаются круговыми); $\omega_i R_i$ — современное значение орбитальной скорости планеты с радиусом орбиты R_i .

Отсюда получаем начальный радиус орбиты i -й планеты

$$R_{0i} = (L_i / \omega_0)^{1/2}.$$

Значения этих радиусов приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Масса Солнца M_i , необходимая для включения в состав СС планеты, находящейся на расстоянии R_{0i} от Солнца

	Планета								
	Мер- ку- рий	Вене- ра	Зем- ля	Марс	Юпи- тер	Са- турн	Уран	Неп- тун	Плу- тон
$\bar{R}$, а.е.	0,39	0,72	1,0	1,5	5,2	9,5	19,2	30	40
$V_{орб}$, км/с	48	35	30	24	13	9,6	6,8	5,4	4,7
L , 10^{14} м ² /с	28	38	45	54	102	136	196	242	281
R_{0i} , 10^5 м	1,7	2,0	2,1	2,3	3,2	3,7	4,4	4,8	5,3
R_{0i} , 10^4 а.е.	1,1	1,3	1,4	1,5	1,9	2,2	2,9	3,2	3,5
M_i , 10^{25} кг	8	11	14	19	49	75	130	177	225
M_i / m_3	13,3	18,3	23,4	31,7	82	112	217	296	376
$10^5 M_i / M_{совр}$	4	6	7	9	24	38	65	88	112

Примечание. $\bar{R}$ — современный радиус орбиты планеты в астрономических единицах ($1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$); $M_{совр}$ — современная масса Солнца, $M_{совр} = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$; m_3 — современная масса Земли, $m_3 = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

Возникающая при движении по круговой орбите радиусом R_{0i} центробежная сила $\omega_0^2 R_{0i}$ должна уравновешиваться силой тяготения Солнца, т. е. должно выполняться условие

$$\omega_0^2 R_{0i} = f M_i / R_{0i},$$

где M_i — масса Солнца в момент включения i -й планеты в состав СС; f — постоянная мирового тяготения, $f^{-1} = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ (кг} \cdot \text{с}^2\text{)/м}$. Значения M_i приведены в табл. 2.1.

В табл. 2.2 представлены значения радиуса орбит планет в моменты включения в состав СС очередной планеты, а в табл. 2.3 приведены результаты расчета уменьшения радиуса орбит планет за промежуток времени от включения планеты в состав СС до настоящего времени.

Таблица 2.2

Радиус орбит планет (10^3 а.е.)
в момент включения в состав СС очередной планеты

Планета	Планета								
	Мер- курий	Вене- ра	Земля	Марс	Юпи- тер	Са- турн	Уран	Неп- тун	Плу- тон
Меркурий	11,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Венера	7,0	13,1	—	—	—	—	—	—	—
Земля	5,6	10,3	14,2	—	—	—	—	—	—
Марс	3,9	7,1	10,0	15,3	—	—	—	—	—
Юпитер	1,6	3,0	4,6	6,0	21,3	—	—	—	—
Сатурн	1,0	1,9	2,6	3,8	13,7	22,0	—	—	—
Уран	0,6	1,1	1,6	2,6	8,0	14,2	29,0	—	—
Нептун	0,43	0,8	1,2	1,6	5,8	10,3	21,2	32,0	—
Плутон	0,35	0,64	0,94	1,34	4,68	8,4	17,3	24,2	35,0

Используя данные этих таблиц, можно представить следующую картину эволюции СС. Вследствие экспоненциального характера аккумуляции частиц наиболее массивная частица в данной области межзвездного пространства будет опережать другие частицы по скорости роста массы. В результате эта частица превращается в центральное тело (ЦТ) данной области, относительно которого движутся по замкнутым орбитам частицы, обладаю-

Таблица 2.3

Степень уменьшения радиуса орбиты планеты
за время ее существования в составе СС

	Планета								
	Мер- курий	Вене- ра	Земля	Марс	Юпи- тер	Са- турн	Уран	Неп- тун	Плу- тон
$\bar{R}$, а.е.	0,39	0,72	1,0	1,5	5,2	9,5	19,2	30	40
$R_0, 10^3$ а.е.	11,2	13,1	14,2	15,3	21,3	22	29	32	35
$10^{-3} R_0 / R$	28	18	14	10	4,1	2,3	1,5	1,06	0,88

щие достаточной величиной трансверсальной (т. е. перпендикулярной радиусу-вектору, соединяющему данную частицу с ЦТ) компонентой скорости для того, чтобы не войти в состав ЦТ. Современные планеты, согласно табл. 2.1, образованы из частиц, находившихся на расстоянии от $1,7 \cdot 10^{15}$ до $5,3 \cdot 10^{15}$ м от Протосолнца, масса которого в момент включения в состав СС Меркурия лишь на порядок превосходила современную массу Земли, т. е. оно явно не было звездой. Частицы, первоначально находившиеся в круте радиусом $1,7 \cdot 10^{15}$ м, к настоящему времени поглощены Солнцем. Можно предположить, что источником пополнения массы Солнца, помимо частиц протооблака, могли стать и облака пыли, через которые проходит Солнце в течение галактического года.

Представляется, что Меркурий и Венера были долгое время единственными спутниками Солнца, поэтому они обращены к нему „почти“ одной стороной, как и все спутники, находящиеся достаточно близко к планетам, даже такие, как Альматая, спутник Юпитера, имеющий очень вытянутую орбиту. По-видимому, Луна как спутник Земли существует намного дольше, чем Земля как спутник Солнца.

После поглощения достаточно крупной частицы (вероятно, это была планета с радиусом орбиты менее $5,6 \cdot 10^3$ а.е. — см. табл. 2.2) масса Протосолнца ($23m_\odot$) оказалась достаточной для включения в состав СС Земли, которая наверняка к тому време-

ни создала свою „планетную систему“, от которой после ее включения в состав СС сохранилась лишь Луна. При дальнейшем росте массы Протосолнца достигается следующий критический уровень его массы ($32m_{\odot}$), позволивший включить в СС Марс.

„Кванты“ роста массы Протосолнца, необходимые для включения очередной планеты в состав СС, для планет земной группы на порядок меньше, чем для планет-гигантов. Если принять скорость роста массы Протосолнца постоянной, то можно сделать вывод, что промежуток времени до момента включения планеты-гиганта в состав СС был достаточным для формирования ее собственной сложной планетной системы.

Включение очередной планеты с ее планетной системой в состав СС вызывало частичное нарушение установившейся к тому времени упорядоченности движений в СС. Вследствие этого начинался новый раздел частиц, сопровождавшийся интенсификацией процесса взаимодействия частиц с Протосолнцем и с зародышами планет. Для Земли, в частности, это означало очередное изменение глобального климата, состава биосферы и характера поверхности. Изменения климата возникали из-за изменений величины и направления УСВ, возникали из-за изменений земной коры и усиления вулканической деятельности. Состав биосферы мог изменяться вследствие глобальных природных катастроф и влияния тяжелых металлов, оказавшихся на поверхности Земли, на генетический аппарат животных и растений. Особую роль играли радий и уран вследствие их радиоактивности; как отметил В. И. Вернадский в своих „Проблемах геохимии“, „уран собирается в органогенных телах“. Можно высказать предположение, что аналогичной является геохимическая роль человечества. Характер поверхности планеты мог изменяться вследствие механического воздействия крупных частиц. Может быть, движение материковых плит является реликтом такого воздействия.

При исследовании эволюции атмосфер и „гидросфер“ Марса, Земли и Венеры в следующей главе может оказаться полезным такое следствие предлагаемой гипотезы: в течение своего „досолнечного“ существования зародыши планет могли содержать все вещества, включая водород и азот, в твердой фазе.

В заключение описания предложенной автором гипотезы эволюции СС можно сказать, что современное строение СС является,

образно говоря, одним кадром из кинофильма об эволюции СС. Кажется вероятным, что со временем число планет уменьшится, а Солнце вместе с Юпитером превратится в двойную звезду (как известно, одиночные звезды в Галактике составляют менее 20 %).

2.1. Кинематическая величина скорости вращения

В процессе раздела межзвездного и межпланетного вещества к зародышам планет присоединяются частицы, обладающие своим количеством движения (КД). Входя в состав планеты, эти частицы почти всегда сообщают ей соответствующий момент количества движения (МКД) относительно оси вращения планеты. Именно величина полученного планетой МКД определяет скорость ее вращения.

В процессе формирования Солнечной системы объем протопланетного облака уменьшается, так как вследствие роста массы центрального тела (ЦТ) этого облака частицы должны увеличивать свои орбитальные скорости, чтобы удержаться на орбите, а увеличение скорости орбитального движения возможно лишь при уменьшении радиуса орбиты, как это следует из закона сохранения МКД и соотношения для круговой орбиты

$$V = (fM / R)^{1/2}, \quad (2.1)$$

где f — постоянная мирового тяготения, M — масса ЦТ (ниже она считается равной современной массе Солнца), V — скорость орбитального движения, R — радиус круговой орбиты зародыша планеты.

Из формулы (2.1) видно, что протооблако не вращалось как твердое тело, поскольку для этого должно выполняться условие $V \sim R$. Однако частицы его не двигались и поступательно, так как для произвольного контура l (на рис. 2.1 это контур 1-2-3-4-1) циркуляция скорости Γ не равна нулю:

$$\Gamma = \int_l \mathbf{V} \cdot d\mathbf{l} = \alpha \sqrt{fM} (R_2^{1/2} - R_1^{1/2}) > 0. \quad (2.2)$$

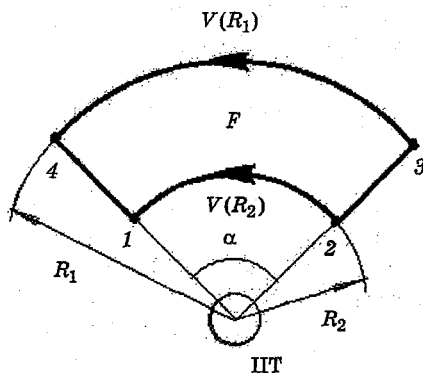


Рис. 2.1. Контур, использованный при вычислении циркуляции скорости.

Вещество в галактиках часто рассматривают как сплошную среду. Естественно использовать это допущение при рассмотрении более концентрированного вещества в протооблаке.

Согласно теореме Стокса, циркуляция скорости по замкнутому контуру l равна напряженности вихря скорости по поверхности, опирающейся на этот контур:

$$\int_l \mathbf{V} \cdot d\mathbf{l} = \int_F \text{rot} \mathbf{V} \cdot d\mathbf{F}. \quad (2.3)$$

Здесь $d\mathbf{F}$ — элемент поверхности, опирающейся на контур; $\text{rot} \mathbf{V}$ — вихрь скорости. В рассматриваемом случае

$$|\text{rot} \mathbf{V}| = 2\omega,$$

где ω — кинематическая (вернее сказать, циркуляционная) УСВ частиц в современную эпоху.

Поскольку скорости постоянны на участках контура 1-2-3-4-1, то вместо уравнения (2.3) можно записать

$$(fMR_2)^{1/2} - (fMR_1)^{1/2} = \omega(R_2^2 - R_1^2). \quad (2.4)$$

При неограниченном уменьшении разности $R_2 - R_1$ последнее выражение переходит в формулу

$$\omega = \frac{1}{4} (fM / R^3)^{1/2}. \quad (2.5)$$

Современные значения циркуляционной УСВ планет приведены в табл. 2.4 и 2.5, в которых $\bar{R}$ — радиус орбиты в астрономических единицах ($1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$), Ω_Φ — скорость вращения планеты в современную эпоху, α — угол отклонения оси вращения планеты от нормали к плоскости ее орбиты. Можно еще раз напомнить, что эта УСВ является скоростью вращения частиц, не объединенных в одно целое, друг относительно друга.

Таблица 2.4

„Циркуляционная“ скорость вращения ω планет земной группы

	Планета			
	Меркурий	Венера	Земля	Марс
$\bar{R}$, а.е.	0,387	0,723	1,0	1,524
ω , 10^{-8} с^{-1}	20,76	8,13	5,0	2,66
Ω_Φ , 10^{-5} с^{-1}	0,12	-0,03	7,3	7,1
ω / Ω_Φ	0,17	-0,27	$7 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
α°	0	4	23,5	24,9

Из табл. 2.4 видно, что УСВ Меркурия и Венеры мало изменились в эпоху формирования планет из их зародышей, чего явно нельзя сказать о Земле и Марсе.

Интересно отметить, что циркуляционная скорость вращения частиц вокруг своих осей в четыре раза меньше угловой скорости их вращения относительно ЦТ:

$$\omega_1 \equiv V / R = (fM / R^3)^{1/2}. \quad (2.6)$$

Таблица 2.5

„Циркуляционная скорость“ вращения ω планет-гигантов

	Планета			
	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
$\bar{R}$, а.е.	5,2	9,5	19,2	30,1
$\omega, 10^{-8} \text{ с}^{-1}$	4,2	1,7	0,6	0,3
$\Omega_{\Phi}, 10^{-5} \text{ с}^{-1}$	18	17	16	12
$10^4 \omega / \Omega_{\Phi}$	2,3	1,0	0,4	0,2
α°	3	27	98	29

2.2. „Ударный“ способ формирования планет

Можно предположить существование трех способов аккумуляции частиц.

„Радимальный“ способ, при котором осуществляется сбор частиц, не имеющих трансверсальных (т. е. перпендикулярных радиусу-вектору, соединяющему частицы) компонент скорости по отношению к более массивной частице. Такой способ осуществляется на начальном этапе формирования Солнечной системы. В результате его возникают упомянутые выше зародыши планет, УСВ которых совпадает по знаку с угловой скоростью вращения межзвездного вещества, но отличается по величине вследствие сжатия протопланетного облака.

„Ударный“ способ, при котором с зародышем планеты сталкиваются достаточно крупные частицы, движущиеся по эллиптическим орбитам относительно зародыша или по околосолнечным орбитам с большим эксцентриситетом. Этот способ малоэффективен по массе аккумулируемого вещества, но кардинальным образом может изменить УСВ зародыша планеты.

„Потенциальный“ способ, при котором собираются мелкие частицы путем перевода их с соседних орбит. Этот способ эффек-

тивен по массе собираемого вещества, но на УСВ он практически не влияет.

Ниже используются следующие допущения:

- плотность межпланетного вещества (т. е. масса частиц в единице объема межпланетного пространства) в эпоху формирования планет одинакова и постоянна;

- формирование планеты происходит при неизменной орбите;

- сбор частиц осуществляется только из плоскости орбиты;

- форма и масса планеты не изменяются в процессе ее формирования;

- система координат, связанная с центром массы планеты, является инерциальной с однородным полем тяготения Солнца;

- плотность среды считается равной массе частиц в цилиндре с единичным поперечным сечением, образующая которого перпендикулярна плоскости орбиты, а высота равна толщине протооблака (рис. 2.2).

После включения в состав СС очередной планеты сначала происходит быстрый раздел частиц, не имевших трансверсальных компонент скорости относительно Солнца или планет. Одновременно начинается формирование УСВ планеты как члена СС. Как будет показано ниже, в эту эпоху массы планет увеличились не более чем в полтора раза, что и оправдывает введение допущения о постоянстве формы и массы планеты в процессе формирования ее УСВ.

Для перехода частицы с одной орбиты на другую должно выполняться одно из двух условий:

- 1) сила, изменяющая орбиту, должна быть больше силы, удерживающей частицу на этой орбите;

- 2) должна существовать сила, работа которой равна изменению потенциальной энергии частицы.

В этом параграфе рассматривается процесс формирования планеты при выполнении первого условия. Этот процесс, как будет видно из дальнейшего изложения, является ударным способом аккумуляции частиц.

Пусть есть две частицы A и B с массами M_A и M_B , $M_A \gg M_B$, движущиеся по круговым орбитам с радиусами R_A и R_B вокруг ЦТ. Эти частицы могут объединиться, если вы-

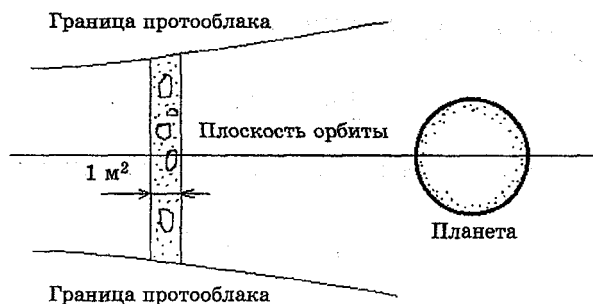


Рис. 2.2. К определению плотности среды.

полняется первое условие, т. е. если сила притяжения частиц A и B

$$F_{AB} = fM_A M_B / R_{AB}^2 \quad (2.7)$$

(здесь R_{AB} — расстояние частицы B от центра масс „частицы“ A , т. е. планеты) будет больше центробежной силы, действующей на частицу B при ее орбитальном движении относительно ЦТ:

$$M_B V_B^2 / R_B, \quad (2.8)$$

где R_B — радиус кривизны траектории частицы B , равный в рассматриваемом случае радиусу круговой орбиты частицы B .

Таким образом, объединение произойдет при выполнении условия

$$fM_A R_B > V_B^2 R_{AB}^2, \quad (2.9)$$

где

$$V_B^2 = fM_0 / R_B, \quad (2.10)$$

M_0 — масса Солнца.

Окончательно условие объединения частиц записывается следующим образом:

$$M_A R_B^2 > M_0 R_{AB}^2, \quad (2.11)$$

т. е. планета может собрать частицы из полосы шириной R_{AB} , если

$$R_{AB} < R_B (M_A / M_0)^{1/2}, \quad (2.12)$$

по обе стороны своей орбиты (рассматривается, согласно принятому допущению, процесс аккумуляции только из плоскости, перпендикулярной оси вращения протооблака и проходящей через центр масс ЦТ).

Выражение (2.12) можно переписать в виде

$$R_{AB} < R_A / [(M_0 / M_A)^{1/2} \pm 1], \quad (2.13)$$

если учесть, что $R_B = R_A \pm R_{AB}$, где знак „ $\pm$ “ соответствует частицам, находящимся на орбитах, более дальних, чем орбита планеты. Если $(M_0 / M_A)^{1/2} \gg 1$, то это выражение приобретает простой вид:

$$R_{AB} < R_A (M_A / M_0)^{1/2}. \quad (2.14)$$

В табл. 2.6 приведены значения ширины полос в „ударном“ варианте аккумуляции частиц планетами. Интересно, что в теории роста планет „зона питания“ считается равной $0,2 \cdot 2R_A$ [26, с. 329] и не существует разделения способов аккумуляции планетами частиц.

Таблица 2.6

Ширина полос сбора частиц в „ударном“ режиме сборки планет

Планета. . .	Мер- курий	Вене- ра	Земля	Марс	Юпи- тер	Са- турн	Уран	Неп- тун
$2R_{AB}$, м. . .	$5 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{10}$	$4 \cdot 10^{10}$	$6 \cdot 10^{10}$

В полярной системе координат, начало которой находится в центре масс планеты A , скорость частицы B равна

$$\mathbf{W}_B \equiv \mathbf{W}_\theta + \mathbf{W}_r = \mathbf{V}_B - \mathbf{V}_A, \quad (2.15)$$

где $\mathbf{V}_A, \mathbf{V}_B$ — орбитальные скорости планеты и частицы B ; $\mathbf{W}_\theta$ — трансверсальная компонента скорости частицы B (т. е. перпендикулярный радиусу-вектору $\mathbf{r}$ частицы B , проведенному из начала полярной системы координат); $\mathbf{W}_r$ — радиальная компонента скорости частицы B .

Вследствие наличия $\mathbf{W}_\theta$ движение частицы B не будет прямолинейным: она будет двигаться по эллиптической траектории, поскольку из закона сохранения механической энергии

$$K + U = \text{const} \quad (2.16)$$

следует, что движение частицы B будет циклическим.

Здесь K — кинетическая энергия единицы массы, $K = W_B^2 / 2$; U — потенциальная энергия единицы массы, $U = -fM_A / r$.

Уравнение траектории получается из законов сохранения энергии (2.16) и МКД:

$$rW_\theta = (pfM_A)^{1/2} = \text{const}, \quad (2.17)$$

где p — фокальный параметр:

$$p = 2r_{\max} r_{\min} / (r_{\max} + r_{\min}). \quad (2.18)$$

Оно имеет следующий вид:

$$r = p / (1 + e \cos \theta), \quad (2.19)$$

где e — эксцентриситет эллипса.

Теперь нужно определить большую ось эллипса и максимальную скорость $W_{\max}$ при движении частицы B относительно планеты A . Согласно (2.17), $W_{\max}$ будет достигаться при минимальном расстоянии частицы B от центра масс планеты (рис. 2.3), т. е. в момент касания частицей B поверхности планеты:

$$W_{\max} = (pfM_A)^{1/2} / r_{\Pi}, \quad (2.20)$$

где r_{Π} — радиус планеты.

Учитывая соотношения

$$r_{\max} = R_B - R_A \equiv R_{AB}; \quad r_{\min} = r_{\Pi}, \quad (2.21)$$

получаем, что фокальный параметр приближенно равен

$$p \approx 2r_{\Pi}, \quad (2.22)$$

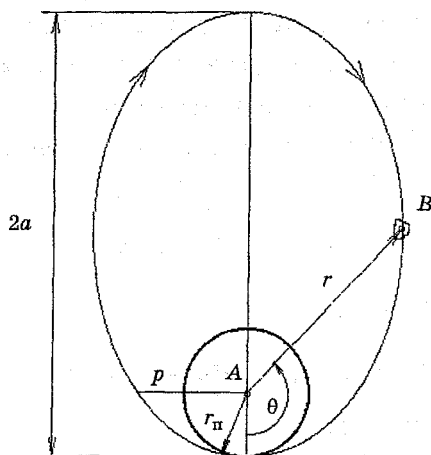


Рис. 2.3. Схема взаимодействия астероида B с протопланетой A .

если вспомнить, что, согласно выражению (2.21),

$$r_{\Pi} / R_{AB} \ll 1. \quad (2.23)$$

Следовательно,

$$W_{\max} = (2fM_A / r_{\Pi})^{1/2}. \quad (2.24)$$

Для современной Земли эта величина равна 11 км/с, что совершенно естественно, так как ввиду большой вытянутости эллипса траектория частицы B похожа на параболу, а величина параболической (т. е. второй космической) скорости для Земли равна 11,2 км/с.

Количество движения, передаваемое планете единицей массы частицы B при их „слипании“, равно $W_{\max}$, а момент этого количества движения равен $-W_{\max} r_{\Pi}$.

Совершенно аналогична схема взаимодействия для частиц, поступающих из области внутри орбиты планеты.

МКД, передаваемый планете единицей массы присоединяемой частицы B в ударном режиме, аналогичен по действию паре сил и равен

$$L_1 = -(8fM_A r_{\Pi})^{1/2}. \quad (2.25)$$

Конечно, это решение имеет пока лишь качественный характер. Однако даже такое решение задачи взаимодействия частиц и планеты показало, что УСВ планет, возникающая вследствие этого воздействия, отрицательна, если принять традиционное направление движения планет относительно Солнца против часовой стрелки Северным полюсом вверх. Действительно, УСВ планеты можно определить по известной формуле

$$\Omega = M_1 L_1 / J = -M_1 (8fM_A r_{\Pi})^{1/2} / J < 0, \quad (2.26)$$

где M_1 — масса планеты, аккумулированная „ударным“ способом; J — момент инерции планеты; для однородного шара

$$J = 0,4 M_A r_{\Pi}^2. \quad (2.27)$$

Таким образом, УСВ планеты равна

$$\Omega = -5 M_1 [2f / (M_A r_{\Pi}^3)]^{1/2} < 0. \quad (2.28)$$

Отрицательная величина УСВ Марса и Земли (при традиционном направлении орбитального движения планет относительно Солнца против часовой стрелки) оказалась неожиданным результатом этого этапа исследования. Объяснение этого факта, ускользнувшего от внимания астрономов, оказалось очень простым: все частицы, включая астероиды, метеориты и даже планеты, в системе координат, связанной с планетой A , вращаются относительно нее по часовой стрелке. Образно говоря, частицы из дальней полосы сбора частиц имеют меньшую скорость движения по орбите, чем планета A , и как бы притормаживают планету при контакте с ней, а частицы из ближней (по отношению к Солнцу) полосы имеют большую скорость движения по орбите и как бы подталкивают планету A . Момент сил в том и в другом случаях направлен по часовой стрелке (рис. 2.4).

Следовательно, наша планета, вращаясь против часовой стрелки, если смотреть с Северного полюса, движется вместе с другими планетами против часовой стрелки относительно Солнца Северным полюсом „вниз“. Или, если посмотреть на Солнечную систему „снизу“, можно сказать, что планеты движутся относительно Солнца по часовой стрелке, и Земля вращается Северным полюсом „вверх“ против часовой стрелки (рис. 2.5). Главное, что УСВ Солнца и большинства планет направлены в противоположные стороны.

На первый взгляд, это уточнение не может отразиться ни на чем, кроме схем строения Солнечной системы в школьных учебниках. Труднее психологически свыкнуться с мыслью, что наша планета вращается „вниз головой“.

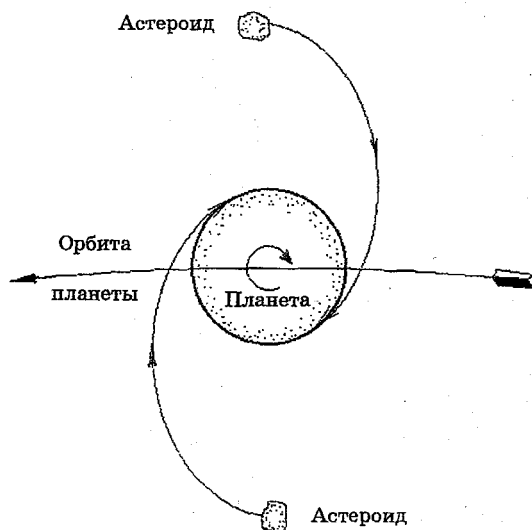


Рис. 2.4. Соударения планеты с астероидами сообщают ей отрицательную скорость вращения (при орбитальном движении планет против часовой стрелки).

Научное и мировоззренческое значение этого уточнения предстоит еще осознать.

Наглядным доказательством правильности высказанной гипотезы о противоположности направлений УСВ Земли и Солнца служит известный факт возникновения солнечных пятен на восточном краю диска Солнца и исчезновение их на западном краю [38, с. 58; 46, с. 8; 56, с. 19], т. е. Солнце действительно вращается по часовой стрелке.

Орбитальное движение планет происходит в том же направлении, в каком вращается Солнце. Следовательно, схема, предложенная Н. Коперником (рис. 2.6 по рис. 15 и 16 из его книги [39], взятым из [21, с. 48—49]), нуждается в корректировке в соответствии с рис. 2.5.

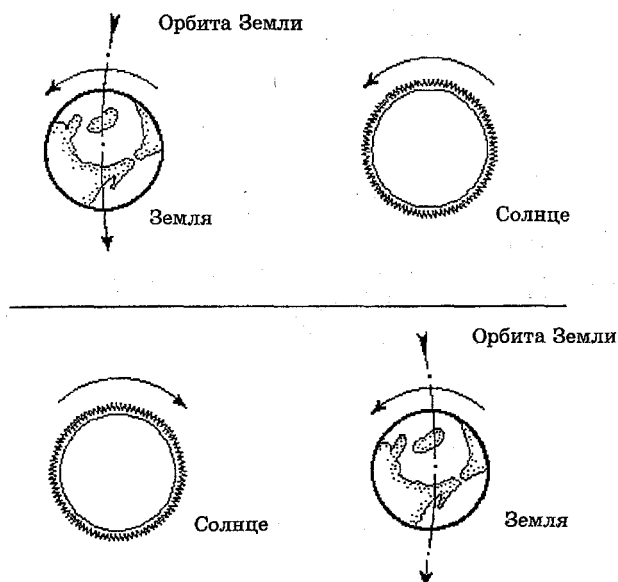


Рис. 2.5. Схема движения Земли и Солнца.
Вверху — традиционная схема, внизу — предлагаемая схема.

Интересно, что первая попытка использовать движение солнечных пятен для подтверждения гипотезы о системе Мира была сделана уже в 1611 г. Х. Шейнером [38, с. 57], изобретателем пантографа. Он принял солнечные пятна за малые планеты, проходящие перед диском Солнца, и хотел подтвердить правильность птолемеевской системы, в которой Мир вращается по часовой стрелке относительно неподвижной Земли, ссылкой на наблюдаемое им движение солнечных пятен с запада на восток, т. е. в направлении орбитального движения планет в системе Птолемея. Однако он не учел, что в его зрительной трубе изображение было перевернутым, и солнечные пятна двигались (и продолжают двигаться) с востока на запад.

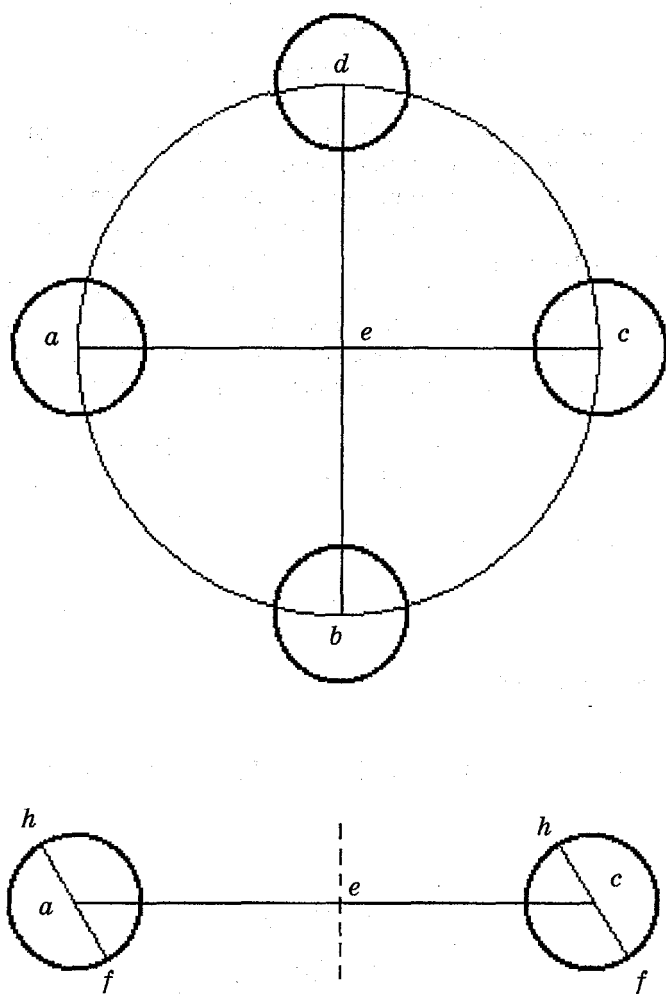


Рис. 2.6. Схема движения Земли (по Н. Копернику [39]).
abcd — годовой путь Земли, *e* — положение Солнца, *hf* — ось вращения
 Земли, *h* — северный конец оси, *f* — южный конец оси.

2.3. „Потенциальный“ путь формирования планет

В гипотезах И. Канта и П. Лапласа планеты формируются из газового облака. Трудно представить, чтобы межпланетная пыль и газы участвовали в описанном выше процессе ударного взаимодействия частиц и планет. Более реальным кажется способ аккумуляции частиц путем перевода их на орбиты, близкие к орбите планеты (на рис. 2.7 это переход с орбиты 1 на орбиту 2).

Изменение потенциальной энергии частицы равно работе внешних сил, т. е. при переходе частицы с орбиты радиусом R_1 на орбиту радиусом R_2 потенциальная энергия изменяется на величину

$$\Delta U = fM_0 (R_2 - R_1) / (R_1 R_2) \quad (2.29)$$

под действием силы притяжения планеты

$$F = fM_A / r^2, \quad (2.30)$$

совершающей работу

$$\Delta l = \int_{r_d}^{r_n} (fM_A / r^2) dr = fM_A (r_d - r_n) / (r_n r_d), \quad (2.31)$$

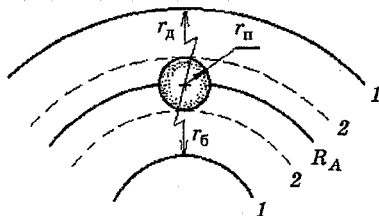


Рис. 2.7. Схема области сбора частиц при „потенциальном“ пути формирования планеты.

т. е.

$$-fM_A (r_d - r_n) / (r_n r_d) = fM_0 (R_2 - R_1) / (R_1 R_2). \quad (2.32)$$

Поскольку

$$R_1 R_2 \approx R_A^2; \quad r_d - r_n \approx R_2 - R_1, \quad (2.33)$$

то

$$M_A / (r_n r_d) = M_0 / R_A^2, \quad (2.34)$$

и ширина полосы сбора частиц, „окаймляющей“ орбиту планеты с внешней стороны орбиты, равна

$$r_d = M_A R_A^2 / (M_0 r_n). \quad (2.35)$$

Такая же полоса окаймляет орбиту планеты с внутренней стороны орбиты.

В табл. 2.7 приведены значения ширины полос сбора частиц в потенциальном режиме для планет земной группы.

Таблица 2.7

Ширина полос сбора частиц в потенциальном режиме

Планета. . . .	Меркурий	Венера	Земля	Марс
$r_d, 10^9$ м. . . .	0,2	2,7	10,7	4,5

Количество движения частиц, притягиваемых к зародышу планеты из дальней области сбора частиц (т. е. из полосы, внешней по отношению к орбите планеты), равно

$$K_d = \int_{r_n}^{r_d} \int_t \rho V_A (V_d - V_A) dr dt, \quad (2.36)$$

где V_d — скорость частицы на орбите 2 (см. рис. 2.7) при ее столкновении с планетой:

$$V_d = [fM_0 / (R_A + r_n)]^{1/2} \approx V_A [1 - r_n / (2R_A)]. \quad (2.37)$$

Учитывая, что

$$V_d - V_A = -V_A r_n / (2R_A), \quad (2.38)$$

можно переписать выражение (2.36) в таком виде:

$$K_d = - \int_{r_n}^{r_d} \int_t \rho V_A^2 r_n / (2R_A) dr dt. \quad (2.39)$$

Если плотность среды не зависит от расстояния от ЦТ, то это выражение приобретает следующий вид:

$$K_d = - \int_t \rho V_A^2 r_n (r_d - r_n) / (2R_A) dt. \quad (2.40)$$

Знак „минус“ получается вследствие того, что скорость частиц в дальней полосе меньше скорости планеты.

Если учесть, что

$$\int_0^{\infty} \rho r_d V_A dt = M_d, \quad (2.41)$$

где M_d — часть массы планеты, собранная с дальней полосы, то вместо (2.40) можно записать

$$K_d = -M_d V_A r_n (r_d - r_n) / (2R_A r_d). \quad (2.42)$$

Момент этого количества движения относительно оси вращения планеты равен

$$L_d = -M_d V_A r_n^2 (r_d - r_n) / (2R_A r_d) \quad (2.43)$$

и направлен по часовой стрелке.

Аналогично для ближней полосы сбора частиц можно получить выражения для ширины полосы сбора частиц

$$r_6 = M_A R_A^2 / (M_0 r_{\Pi}), \quad (2.44)$$

для количества движения

$$K_6 = M_6 V_A r_{\Pi} (r_6 - r_{\Pi}) / (2R_A r_6) \quad (2.45)$$

и для момента количества движения

$$L_6 = -M_6 V_A r_{\Pi}^2 (r_6 - r_{\Pi}) / (2R_A r_6). \quad (2.46)$$

Сумма этих моментов количества движения (т. е. МКД частиц из внешней и внутренней полос их сбора) равна

$$L_2 = -M_2 V_A r_{\Pi}^2 (r_0 - r_{\Pi}) / (2R_A r_0) \approx -M_2 V_A r_{\Pi}^2 / (2R_A), \quad (2.47)$$

так как $r_d = r_6 \equiv r_0 \gg r_{\Pi}$; $M_2 = M_6 + M_d$ — масса планеты, собранная потенциальным способом.

Из (2.26) получается величина УСВ планет при ее формировании потенциальным способом:

$$\Omega = -1,25 V_A M_2 / (M_A R_A). \quad (2.48)$$

Эту величину можно оценить также по разности орбитальных скоростей на концах диаметра планеты: она равна $\Omega = -V_A / 2R_A$, что совпадает с (2.48) при $M_2 = 0,4M_A$.

Для Меркурия УСВ получается равной $\Omega = -5 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$.

Итак, „потенциальный“ механизм сбора частиц эффективен по массе собираемого вещества (около 40 % массы планеты), но он не может создать наблюдаемые УСВ большинства планет.

Для объяснения величин УСВ Марса и Земли можно предложить такую гипотезу. Пусть в процессе ударной раскрутки участвует доля массы планеты, пропорциональная отношению размеров областей сбора частиц в ударном и в потенциальном режимах сборки. Тогда УСВ планет будет описываться формулой

$$\Omega = LR_{AB} / (Jr_0) = -2 (2fM_0 / r_{\text{н}})^{1/2} / R_A; \quad L \equiv L_1 M_1. \quad (2.49)$$

Подсчитанная таким образом УСВ оказалась равной для Земли $\Omega = -8,6 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ (по палеонтологическим данным [74, с. 25] УСВ Земли 1,5 млрд лет назад была равна $20 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, т. е. в 2,7 раза больше современной). Для Марса $\Omega = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Получение чисто теоретическим путем довольно правдоподобных оценок УСВ планет земной группы позволяет сделать вывод, что предложенная гипотеза смешанного механизма формирования планет, объединяющая практически все некатастрофические гипотезы формирования Солнечной системы, за исключением магнитогидродинамической гипотезы Х. Альвена [2], имеет право на существование.

Итак, значения УСВ планет земной группы („циркуляционная“ для Венеры, „потенциальная“ для Меркурия и „ударные“ для Марса и Земли) являются результатом эволюции планет в эпоху их формирования. Различие скоростей вращения планет, их масс и радиусов орбит привело к формированию разных климатов, принципиально несводимых друг к другу.

В заключение можно сделать несколько замечаний по поводу УСВ планет-гигантов, хотя это и не соответствует теме книги. Для них расчетные значения ширины полос сбора частиц в потенциальном режиме оказались слишком велики (табл. 2.8). Например, для Юпитера она составляет 5,4 а.е., в то время как радиус орбиты Юпитера равен 5,2 а.е. Поэтому нужно скорректировать ширину полос, сделав ее в первом приближении пропорциональной массе планет-соседей, т. е. вместо (2.35) использовать выражение

$$\Delta_{\text{п1}} = M_A \Delta R / \sum M, \quad (2.50)$$

где ΔR — расстояние между орбитами соседних планет; $\sum M$ — сумма масс этих планет; M_A — масса планеты, для которой определяется ширина полосы сбора частиц в потенциальном режиме.

Таблица 2.8

Основные параметры планет-гигантов

Параметр	Планета			
	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Радиус орбиты, а.е.	5,203	9,539	19,18	30,06
Расстояние между планетами, а.е.	4,3	9,7	10,8	9,5
Масса в массах Земли	318	95,3	14,6	17,3
Отношение плотности к плотности воды	1,30	0,71	1,43	1,80
Время оборота вокруг оси, с	$35,0 \cdot 10^4$	$36,7 \cdot 10^4$	$38,9 \cdot 10^4$	$56,7 \cdot 10^4$
Орбитальная скорость, км/с	13,1	9,6	6,8	5,4
Радиус планеты, м	$71,0 \cdot 10^6$	$60,0 \cdot 10^6$	$26,2 \cdot 10^6$	$24,4 \cdot 10^6$
Ширина „ударной“ полосы R_{AB} метры а.е.	$2,4 \cdot 10^{10}$	$2,4 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$3,2 \cdot 10^{10}$
	0,16	0,16	0,13	0,21
Ширина потенциальной полосы r_0 , а.е.	5,45	6,50	11,3	28,7
Скорректированная ширина Δ_{Π} „потенциальной“ полосы, а.е.	$3,7 + 3,3$	$1,0 + 6,5$	$3,2 + 5,0$	$5,7 + 9,5$
Отношение ширины „потенциальной“ и ширины „ударной“ полосы, $N = \Delta_{\Pi} / 2R_{AB}$	20,6	23,5	25,3	37,8
Расчетная УСВ, с ⁻¹	$-20 \cdot 10^{-5}$	$-13 \cdot 10^{-5}$	$-15 \cdot 10^{-5}$	$-13 \cdot 10^{-5}$
Фактическая УСВ, с ⁻¹ (по [76, с. 338])	$18 \cdot 10^{-5}$	$17 \cdot 10^{-5}$	$16 \cdot 10^{-5}$	$12 \cdot 10^{-5}$

Как ни удивительно, но такое простейшее разделение привело к хорошему совпадению расчетных и фактических значений УСВ планет-гигантов (см. табл. 2.8).

Расчет проводился по формуле

$$\Omega = -14 \cdot 10^7 N^{-1} [M_A / (M_3 r_{\Pi}^3)]^{1/2}, \quad (2.51)$$

полученной из (2.49) с учетом корректировки ширины полос сбора частиц. В этой формуле $N \equiv \Delta_{\Pi} / (2R_{AB})$; M_3 — масса Земли, $M_3 = 6 \cdot 10^{24}$ кг.

Наибольшее различие фактического и расчетного значений УСВ (почти 25 %) получилось для Сатурна. Может быть, это связано с тем, что ширина полосы сбора частиц в потенциальном режиме для Сатурна составляет $r_0 = 6,5$ а.е., т. е. меньше, чем ширина полосы сбора, подсчитанная по пропорциональному делению расстояния между орбитами Сатурна и Урана (согласно выражению (2.51), $\Delta_{\Pi 1} = 8,4$ а.е.). Поэтому скорректированная ширина полосы сбора частиц в потенциальном режиме для Сатурна была взята равной $\Delta_{\Pi} = (1,0 + 6,5)$ а.е., а не $(1,0 + 8,4)$ а.е.

Сбор частиц в плоскость эклиптики можно объяснить так: из-за существования общей оси вращения протооблака на все частицы действовала центробежная сила, перпендикулярная этой оси. Пока скорость вращения была мала, действие этой силы не вызывало тенденции к сбору частиц в плоскости эклиптики. С ростом скорости вращения росла и центробежная сила, что нарушало равновесие центробежной силы и силы тяготения ЦТ в отнositельном движении частиц вокруг ЦТ в плоскости Π_1 (см. рис. 2.8).

Для сохранения равновесия сил частица должна была бы вращаться в плоскости Π_2 , не проходящей через ЦТ, что невозможно. Поэтому под действием центробежной силы, возникшей вследствие вращения протооблака и возрастающей по мере увеличения скорости его вращения, частица смещается до положения, в котором центробежная сила и сила тяготения ЦТ уравновешиваются, т. е. в плоскость Π_3 , проходящую через центр масс ЦТ перпендикулярно оси вращения протооблака.

Массу Солнца, аккумулярованную ударным путем, можно оценить с помощью выражения

$$J_0 \Omega_0 = L_0, \quad (2.52)$$

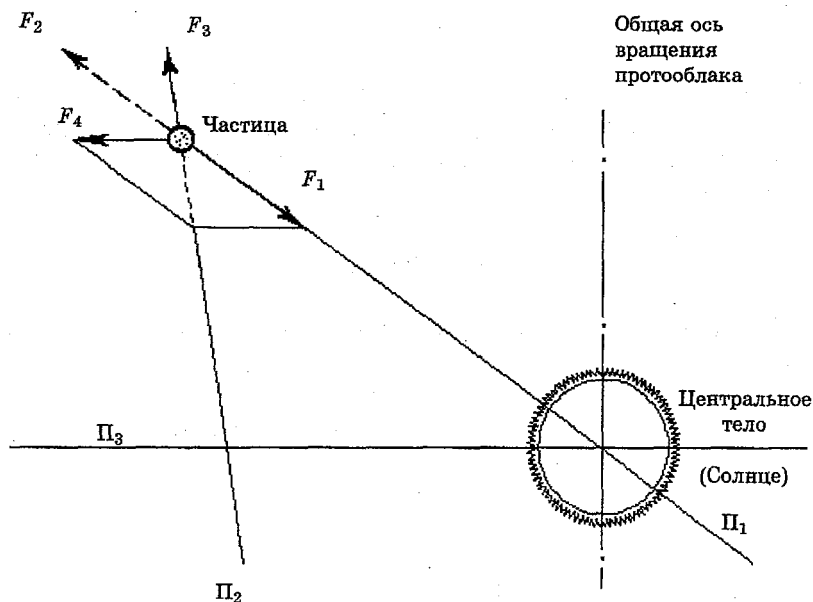


Рис. 2.8. Схема сбора частиц в одну плоскость.

F_1 — сила тяготения Солнца; F_2 — центробежная сила, необходимая для движения частицы по орбите в плоскости Π_1 ; F_3 — сила, уравнивающая силу тяготения Солнца и центробежную силу F_4 , возникающую вследствие вращения протооблака; Π_2 — плоскость орбиты, по которой должна была бы двигаться частица для создания силы F_3 , уравнивающей сумму сил F_1 и F_4 ; Π_3 — плоскость сбора частиц протооблака.

где J_0 — момент инерции Солнца; при одинаковой по объему плотности вещества Солнца

$$J_0 = \frac{2}{5} M_0 R_0^2 = 4 \cdot 10^{47} \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.53)$$

M_0 — масса Солнца, $M_0 = 2 \cdot 10^{30}$ кг; R_0 — радиус Солнца, $R_0 = 7 \cdot 10^8$ м; Ω_0 — угловая скорость вращения Солнца, в среднем $\Omega_0 = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$; L_0 — момент количества движения, переданный Солнцу в процессе ударного сбора частиц:

$$L_0 = M_{10} L_{10}, \quad (2.54)$$

M_{10} — масса частиц, аккумулярованных Солнцем в процессе ударного сбора частиц; L_{10} — момент количества движения, передаваемого Солнцу единицей массы аккумулялируемых частиц.

Как показано выше,

$$L_{10} = R_0 W_{\max}, \quad (2.55)$$

где $W_{\max}$ — максимальная скорость частиц в момент столкновения с Солнцем:

$$W_{\max} = (2fM_0 / R_0)^{1/2} = 6 \cdot 10^5 \text{ м/с}, \quad (2.56)$$

т. е.

$$L_{10} = 4 \cdot 10^{14} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Следовательно,

$$M_{10} = J_0 \Omega_0 / L_{10} = 2,7 \cdot 10^{27} \text{ кг}, \quad (2.57)$$

что равно $1,35 \cdot 10^{-3} M_0$. Таким образом, „ударным“ способом Солнце аккумуляровало около 0,1 % своей массы, что составляет почти 400 масс Земли и превышает массу Юпитера.

Дифференциальное вращение Солнца, остающееся загадкой для астрономов, объясняется просто в рамках рассматриваемой концепции возникновения УСВ планет и Солнца: по-видимому, Солнце не было твердым телом на последних этапах формирования планет Солнечной системы, поэтому аккумуляция частиц преимущественно в экваториальной плоскости Солнца приводила к тому, что угловая скорость экваториальной части гораздо больше угловой скорости других его частей. Можно даже предположить, что эти части вращаются под воздействием вращения экваториальной части.

В табл. 2.9 приведены результаты расчета относительной доли масс планет, аккумулированной ударным путем. Для Меркурия эта доля составляет 0,3 %, что всего в 6 раз меньше, чем у Марса. Этим, наверное, можно объяснить наличие на поверхности Меркурия следов от ударов метеоритов.

Расчет проводился по формуле, получаемой из выражений (2.49)—(2.51),

$$M_1 / M_A = 0,2\Omega [2r_{\Pi}^3 / (fM_A)]^{1/2}, \quad (2.58)$$

где M_1 — масса планеты, аккумулированная ударным способом; M_A — масса планеты; Ω — угловая скорость вращения планеты; r_{Π} — радиус планеты; f — постоянная мирового тяготения.

Плотность планет принималась одинаковой по всему их объему.

Таблица 2.9

Доля массы планет, аккумулированная ударным способом

Параметр	Планета							
	Мер- курий	Венера	Земля	Марс	Юпи- тер	Сатурн	Уран	Неп- тун
$\Omega, 10^{-5} \text{ с}^{-1}$	0,12	-0,03	7,29	7	18	17	16	12
M_A / M_{Σ}	0,056	0,81	1,0	0,11	317	95	14,6	17,2
$r_{\Pi}, 10^6 \text{ м}$	2,44	6,06	6,38	3,4	71,4	60,4	24,8	24,5
$M_1 / M_A, \%$	0,3	0,007	1,7	1,7	8,6	6,0	7,3	5,0

Согласно табл. 2.9, Земля аккумулировала ударным способом 1,7 % своей массы. Интересно, что для возникновения современной величины эксцентриситета орбиты Земли $e = 0,0167$ достаточно столкновения ее с частицами почти такой же массы.

Действительно, после столкновения с частицами Земля, двигавшаяся с орбитальной скоростью $V_0 = 29,62 \text{ км/с}$ по круговой орбите радиусом $R_0 = 1,52 \cdot 10^{11} \text{ м}$, переходит на эллиптическую орбиту с большой полуосью $R_{\text{max}} = 1,52 \cdot 10^{11} \text{ м}$ и малой по-

луосью $1,47 \cdot 10^{11}$ м. Фокальный параметр такой орбиты равен $p = 1,49 \cdot 10^{11}$ м, и орбитальная скорость в афелии (т. е. минимальная скорость) составляет

$$V_{\min} = (pfM_{\text{совр}})^{1/2} / R_{\max} = 29,37 \text{ км/с.} \quad (2.59)$$

Для получения такой скорости относительная масса частиц, согласно закону сохранения количества движения, должна быть равна

$$m_1 / m_3 = V_0 / V_{\min} - 1 = 1,46 \%. \quad (2.60)$$

Согласно табл. 2.9, Венера аккумулировала „ударным“ способом около 0,01 % своей массы. Однако этот вывод неверен: присоединение частиц как „ударным“, так и „потенциальным“ способом привело бы к вращению Венеры в общем для всех планет (кроме Урана) направлении. Ближе всего УСВ Венеры соответствует „циркуляционная“ УСВ, определяемая из выражения (2.5) (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Расчетные Ω_p и фактические Ω_{ϕ} значения угловой скорости вращения планет относительно своих осей

Планета	$\Omega_p, 10^{-5} \text{ с}^{-1}$	$\Omega_{\phi}, 10^{-5} \text{ с}^{-1}$
Меркурий	0,05	0,12
Венера	-0,01	-0,03
Земля	8,6	7,3
Марс	7,7	7,1
Юпитер	20	18
Сатурн	13	17
Уран	15	16
Нептун	13	12

Угол отклонения оси вращения планеты от нормали к плоскости ее орбиты существенно влияет на климат планеты, поэтому различие этих углов для Земли и Венеры является еще одной причиной принципиальной невозможности для Земли стать климатическим двойником Венеры. Насколько известно автору, причины возникновения этого угла отклонения не найдены. Поэтому излагаемая ниже гипотеза может быть полезной при проведении более тщательного исследования.

Основная идея предлагаемой гипотезы возникла при сравнении УСВ трех пар планет: Меркурий—Венера, Марс—Земля и Сатурн—Нептун. Почти одинаковые УСВ планет в каждой паре соответствуют почти одинаковым углам отклонения оси вращения (см. табл. 2.4 и 2.5). Другими словами, угол отклонения явно связан с УСВ. Следовательно, если при почти нулевой УСВ угол отклонения также почти нулевой и не равен нулю при ненулевой УСВ, то природа возникновения угла отклонения оси вращения связана с гироскопическими явлениями.

До присоединения данной планеты вместе с ее планетной системой к СС планета имела положительное направление угловой скорости как ЦТ своей планетной системы (если считать УСВ большинства планет в современную эпоху отрицательной). УСВ аккумулятивной части планеты отрицательна, поэтому в планете образовались две части с противоположными направлениями угловой скорости. Трение на границе этих частей создает момент сил относительно центра масс планеты. Этот момент, который можно назвать гироскопическим моментом, вынуждает оси вращения частей планеты прецессировать до совпадения направлений векторов угловых скоростей. Под влиянием момента сил трения, возникающих вследствие различия угловых скоростей частей планеты, гироскопический момент уменьшается вместе с уменьшением разности угловых скоростей.

Из табл. 2.4 и 2.5 видно, что при сохранении отношения масс планеты и ее зародыша отношение угловых скоростей („циркуляционной“ и наблюдаемой) одинаково при одинаковых углах отклонения осей вращения. Для Земли и Марса отношение масс планеты и ее зародыша ориентировочно равно $1 : 0,4$. По-видимому, такое же отношение масс характерно и для Сатурна и Нептуна, что привело к одинаковым углам отклонения осей вращения при одинаковой УСВ. Вероятно, у Урана оно было значительно

больше, а у Юпитера — намного меньше, что и обусловило тот факт, что отклонение оси вращения у Урана почти в четыре раза больше, чем у Земли, а у Юпитера в восемь раз меньше, чем у Земли.

Согласно [26, с. 159], на глубине около 3 тыс. км от поверхности Земли существует скачок плотности вещества, так что плотность центральной части Земли (ее ядра) составляет более 10 г/см^3 , а плотность остальной части — менее 5 г/см^3 . Ядро Земли, занимающее 11 % ее объема, составляет 31,5 % ее массы [57, с. 38]. Можно предположить, что центральная часть является остатками зародыша Земли, частично расплавившегося под действием трения при изменении его УСВ.

Косвенным доказательством существования первоначального вращения зародыша Земли может служить хорошо известное специалистам движение глубинных магнитных аномалий на запад [81] со скоростью $0,18^\circ/\text{год}$ [53], а также смещение климатических колебаний температуры с востока на запад со скоростью $0,6^\circ/\text{год}$ [22]. Можно предположить, что это движение является источником энергии для сохранения магнитного поля Земли. Согласно современной теории, оно образуется при вращении ядра Земли [5].

В пользу гипотезы возникновения векторов УСВ планет, рассмотренной в этой главе, свидетельствует прецессия оси Земли относительно перпендикуляра к плоскости эклиптики [57, с. 56], т. е. первоначально плоскости экватора и эклиптики совпадали.

Может быть, следует отметить (хотя это не имеет непосредственного отношения к тематике книги), что вращательное движение довольно легко создается (например, при нецентральной столкновении тел, двигавшихся прямолинейно-поступательно), но трудно уничтожается. Это, по-видимому, является причиной его распространенности на всех уровнях мироздания. Асимметрия процессов возникновения и уничтожения вращательного движения ставит под сомнение универсальность закона сохранения момента количества движения, отражающего, как известно, свойство изотропности пространства. Напрашивается предположение о существовании закона возрастания какой-то величины, связанной с вращательным (а быть может, с вихревым) движением. Ясно, что этой величиной не может быть момент количества движения, так как его значение зависит от выбора полюса.

Из содержания этой главы следует, что угловые скорости вращения планет относительно своих осей являются результатом процесса формирования планет, поэтому различия климатов Марса, Земли и Венеры, проистекающие из различий значений и направлений скорости вращения (длительность суток, разность температур дня и ночи, степень различия климатов сезонов года данного климатического пояса и самих климатических поясов), неуничтожимы. Впрочем неуничтожимы и различия климатов этих планет, возникшие вследствие разных путей эволюции их подвижных оболочек, как это будет показано в следующей главе.

Глава 3

ВТОРАЯ ПРИЧИНА РАЗЛИЧИЯ КЛИМАТОВ — РАЗНЫЕ ПУТИ ЭВОЛЮЦИИ АТМОСФЕР И ГИДРОСФЕР

3.1. Особенности атмосферы Венеры

3.1.1. Возникновение теплового режима Венеры

Описание климата Венеры можно найти, например, в [37, 45]. Ниже объясняются причины возникновения только тех характерных черт атмосферы Венеры, которые остались загадкой после ее исследования космическими аппаратами, а именно: причины и время возникновения современного теплового режима атмосферы, причины практического отсутствия воды и механизм, приводящий атмосферу Венеры в движение на высоте 40—70 км [64, с. 30]. Получение ответов на эти вопросы имеет особое значение для целей данной книги, о чем свидетельствует такое высказывание ведущих ученых в области космических исследований [64, с. 20]: „...прозрачность атмосферы [Венеры — Ю. К.] для инфракрасного излучения очень мала. В результате температура поверхности планеты оказывается чрезвычайно высокой. Это явление, называемое парниковым эффектом, на Венере значительно сильнее, чем на Земле... Возникает вопрос, не могут ли и на нашей планете в течение обозримого срока состав атмосферы и климат измениться в том же направлении?... Венера является как бы естественным „космическим полигоном“ для исследований по сравнительной планетологии. Можно считать ее своего рода лабораторией, созданной самой природой“.

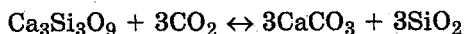
Эти слова, вышедшие из-под пера авторитетнейших специалистов, содержат две принципиальные ошибки. Во-первых, признается существование парникового эффекта и то, что он оказывает большее влияние на атмосферу Венеры, чем на атмосферу Земли. Как уже доказано в первой главе этой книги, парниково-

го эффекта нет ни на Земле, ни на Венере, ни на любых других планетах. Во-вторых, высказывается предположение, что климат Земли может измениться в сторону его сближения с климатом Венеры. Между прочим, авторы [64] не ответили отрицательно на поставленный ими вопрос, т. е. такая перспектива не кажется им противоестественной. Как показано в первой главе, климат Земли имеет одно устойчивое равновесное состояние, которое сохранится до тех пор, пока на Земле существует океан. Разумеется, флуктуации местного климата неизбежны.

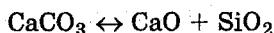
Как будет показано в этой главе, характерные особенности Венеры можно объяснить достаточно просто, если знать законы формирования климата нашей планеты. Видимо, этого как раз не хватает некоторым специалистам по космическим исследованиям, коль скоро они считают, что градиент температуры в тропосфере равен $9,8 \text{ К/км}$ [45, с. 62], а „на Земле атмосферные облака состоят из мельчайших капелек H_2SO_4 “ [64, с. 28].

Как показано во второй главе, угловая скорость вращения Венеры осталась равной „циркуляционной“ скорости вращения. При угловой скорости вращения $3 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ [45, с. 37] солнечные сутки на Венере длятся 584 земных суток [18, с. 239] (по другим данным, солнечные сутки на Венере длятся 117 земных суток [45, с. 38]). В любом случае подсолнечная точка на Венере движется очень медленно. Коль скоро в состав Венеры не вошли астероиды, метеориты и кометы, не вошли в ее состав и так называемые углистые метеориты, содержащие до 20 % воды [9, с. 79]. Водород, аммиак и метан в газообразном состоянии также не могли аккумулироваться Венерой, поскольку они были выметены солнечным ветром за пределы орбиты Марса (по крайней мере, это кажется правдоподобным). Остается один компонент для формирования (точнее говоря, для завершения формирования, так как все планеты имели значительную начальную массу в виде зародышей планет) Венеры — межпланетная „пыль“, состоявшая из веществ, не превращающихся в газ при температуре $T = 465 \text{ К}$, т. е. при эффективной температуре солнечного излучения на орбите Венеры. Однако если исключить возможность включения в состав Венеры аммиака, то трудно объяснить наличие азота, содержание которого в атмосфере Венеры не меньше, чем в атмосфере Земли.

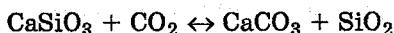
Накопление массы планеты, ее сжатие и переход гравитационной энергии частично в тепловую форму обеспечили температурные условия протекания, в частности, следующих реакций:



(минерал волластонит $\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$ плавится при температуре более 1500 К);



(эта реакция протекает при $T = 1800$ К и давлении 10 МПа [43, с. 68]);



(согласно [43, с. 92], CaSiO_3 плавится при 1800 К).

Кажется очевидным, что на поверхности Венеры эти реакции не могут протекать, хотя в соответствии с [45, с. 69] именно последняя реакция, связывающая силикаты поверхностных пород, служит источником углекислого газа для атмосферы Венеры. Согласно [26, с. 320], температура $T = 1800$ К существует на глубине около 200 км, т. е. углекислый газ может поступать в атмосферу Венеры при извержениях вулканов. В соответствии с [40] в атмосфере Венеры 96 % углекислого газа и 4 % азота.

Отсутствие воды на Венере (точнее говоря, в ее нижних слоях) означает, что над ее атмосферой не совершается внешняя работа. Следовательно, вертикальный градиент температуры атмосферы в ее „безводном“ слое равен сухоадиабатическому градиенту [29, с. 93]:

$$\gamma = \gamma_{\text{ад}} = g / C_p, \quad (3.1)$$

где g — ускорение свободного падения, для Венеры $g = 8,76$ м/с²; C_p — массовая удельная теплоемкость углекислого газа при постоянном давлении; согласно [42, с. 66], она зависит от температуры следующим образом:

$T, ^\circ\text{C} \dots\dots\dots$	100	200	300	600
$C_p, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \dots$	934	964	995	1069

Если взять $C_p = 990 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, то вертикальный градиент температуры атмосферы Венеры в „сухом“ слое (т. е. практически от поверхности до облаков) будет равен $8,8 \text{ К}/\text{км}$. Значение, полученное с помощью космических аппаратов, составило „около $9 \text{ К}/\text{км}$ “ [45, с. 62].

На высотах примерно $50\text{—}70 \text{ км}$ над поверхностью Венеры существует облачный слой (рис. 3.1, взятый из [64]). Под облачным слоем содержание воды достигает $0,3 \%$ и даже $1,1 \%$ [45, с. 73—74]. Данные эти противоречивы, но ясно, что содержание воды максимальное на высотах $40\text{—}50 \text{ км}$, и здесь ее не меньше, чем в приземных слоях атмосферы Земли. В нижних слоях атмосферы воды нет, и вертикальный градиент температуры, как уже сказано, равен сухоадиабатическому. При таком градиенте не нужно совершать работу по вертикальному перемещению воздуха. Воздух свободно поднимается и свободно опускается; при этом его температура изменяется почти на 9 К на каждый километр вертикального перемещения. Температура на нижней границе облаков равна 340 К . Тогда на поверхности Венеры температура должна составлять около 770 К (согласно данным измерений, она равна $700 \pm 100 \text{ К}$ по [37, с. 72] и 740 К по [45, с. 54]) без какого-либо участия парникового эффекта. Уменьшение температуры воздуха по мере удаления от поверхности планеты объясняется известным законом гидростатики.

Итак, тепловой режим Венеры возник в процессе ее формирования в условиях отсутствия океана. Однако содержание водяного пара в ее подоблачном слое (приблизительно на высотах $40\text{—}50 \text{ км}$) не меньше, чем в нижних слоях атмосферы Земли.

3.1.2. Термодинамический цикл водяного пара на Венере

Как уже было упомянуто, данные о содержании водяного пара в атмосфере Венеры противоречивы, а необычный вертикальный профиль концентрации водяного пара остается загадкой. Согласно [40], содержание водяного пара под облаками равно

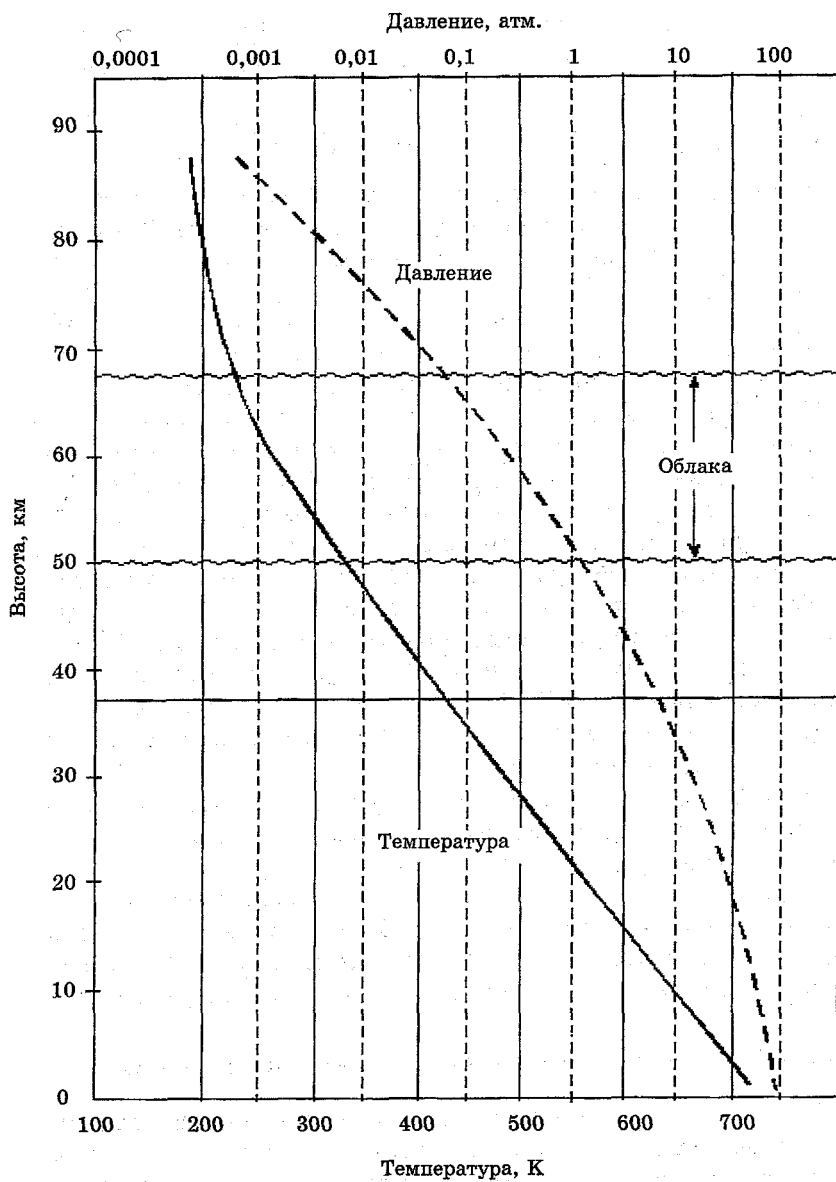


Рис. 3.1. Распределения температуры и давления в атмосфере Венеры (из [64]).

0,1—0,4 %, а над облаками 10^{-4} %. По данным измерений с помощью космических аппаратов „Венера-4“, „Венера-5“ и „Венера-6“ были получены значения 0,6—1,1 % на высотах 45—55 км и 0,1 % на высотах 15—35 км [45, с. 73]. Замеры с помощью „Венеры-9“ и „Венеры-10“ на высотах 35 ± 10 км дали значение 0,1 % [45, с. 73]. По данным космического корабля „Пионер-Венера“, содержание водяного пара равно 0,06 % на высоте 54 км, 0,52 % на высоте 44 км и 0,14 % на высоте 24 км [45, с. 74].

Приведенные в табл. 3.1 данные о температуре и давлении в атмосфере Венеры восстановлены по реперной точке $P = 6$ атм., $T = 430$ К на высоте 37 км (давление 6 атм. взято как среднее между $P = 5,5$ атм. по [45, с. 73] и $P = 6,5$ атм. по [64]).

Таблица 3.1

Расчетные значения температуры и давления в атмосфере Венеры с учетом зависимости теплоемкости от температуры

	z км					
	0	30	37	44	49	54
T , К	744	494	430	364	318	266
t , °С	471	221	157	93	46	—7
C_p , Дж/(кг · К)	—	1006	968	910	861	815
$\gamma_{ад}$, К/км	—	8,7	9,1	9,6	10,3	10,8
P , атм.	116	12,0	6	2,6	1,4	0,6
$g / (\gamma R)$	—	5,34	5,10	4,84	4,50	—
t_s , °С	—	187	158	126	107	85
ρ_s , кг/м ³	—	5,88	2,94	1,28	0,73	0,33
ρ , кг/м ³	—	—	7,37	3,82	2,22	0,99

Температура определялась по формуле

$$T(z + \Delta z) = T(z) + \gamma_{ад} \Delta z, \quad (3.2)$$

где сухоадиабатический градиент температуры $\gamma_{\text{ад}} = g / C_p$ рассчитывался с учетом зависимости теплоемкости при постоянном давлении C_p от температуры [42, с. 66]. Ускорение свободного падения бралось равным $g = 8,76 \text{ м/с}^2$, а газовая постоянная углекислого газа — $C_p = 189 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$.

Давление рассчитывалось по формуле

$$P(z + \Delta z) = P(z) [T(z + \Delta z) / T(z)]^{C_p/R} \quad (3.3)$$

также с учетом зависимости теплоемкости от температуры.

В табл. 3.1 также приведены плотность атмосферы $\rho = P / RT$ и табличные значения плотности ρ_s насыщенного водяного пара при температуре t_s и заданном давлении (эти данные можно найти, например, в [25, с. 230]).

Как видно из таблицы, на высоте 37 км давление и температура соответствуют давлению и температуре на линии насыщения, т. е. на границе между кипящей водой и водяным паром. Другими словами, на высоте менее 37 км вода не может находиться в жидком состоянии.

В качестве реперной точки по содержанию водяного пара было взято значение 0,52 % на высоте 44 км за его конкретность. На этой высоте плотность атмосферы равна $3,8 \text{ кг/м}^3$, т. е. плотность водяного пара составляет 19 г/м^3 , что соответствует плотности насыщенного водяного пара при температуре 22°C . Такая температура, согласно расчету, должна быть на высоте 51 км. На этой высоте относительная влажность должна составлять 100 %, водяной пар начинает конденсироваться, возникают облака.

Измерения с помощью космических аппаратов показали, что образование облаков на Венере начинается на высоте 49 км, т. е. на 2 км ниже, чем это получилось по расчету автора. Ошибка в 4 % удивительно мала, если учесть неточность исходных данных. Впрочем если содержание водяного пара считать равным 1 % вместо 0,52 %, то ошибка уменьшится до 2 %.

Итак, вода кипит на высоте 37 км, водяной пар поднимается до высоты 50 км, конденсируется (при этом уменьшается вертикальный градиент температуры, что влечет за собой увеличение высоты подъема водяного пара) и затем выпадает в виде осадков. Глубина падения осадков — не ниже высоты 37 км над поверхностью Венеры, причем часть осадков испаряется еще до достиже-

ния этой высоты. Картина напоминает процесс выпадения капель на раскаленную поверхность пустыни, когда капли дождя не долетают до поверхности.

Как видно из этого описания, термодинамический цикл водяного пара на Венере ничем не отличается от цикла водяного пара на Земле. Не различаются и распределения водяного пара по высоте, если на Венере начинать отсчет высоты от 37 км. Некоторое различие заключается в том, что на Земле не может быть сплошного облачного покрова. Вообще говоря, градиент температуры будет уменьшаться в тех слоях атмосферы Венеры, где водяной пар совершает работу расширения. В идеальном случае величина градиента должна быть равна

$$\gamma = g(k - 1) / (kR) = 4,7 \text{ К/км.} \quad (3.4)$$

Кроме того, атмосфера Венеры содержит серную кислоту [45, с. 77], которая образует с водой соединения типа $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $n = 1, 2, 4$, температура замерзания которых изменяется от 28 до -39°C . Можно предположить, что такие соединения создают свои термодинамические циклы в соответствующих по температурам слоях атмосферы (на это, в частности, указывает гребенчатое строение кривой зависимости коэффициента рассеяния атмосферы [45, с. 80]). Образующиеся вертикальные ячейки циркуляции перекрывают (в плане) друг друга, и в результате образуется сплошной облачный покров Венеры. По-видимому, нельзя исключать существование в облачном слое Венеры ячеек Бенара.

Итак, никакого своеобразия распределения водяного пара в атмосфере Венеры нет. Другими словами, особенности распределения водяного пара на Венере можно предсказать, зная аналогичный процесс на Земле.

3.1.3. Механизм возникновения движения облачного слоя Венеры

Загадкой остается до сих пор механизм, приводящий в движение атмосферу Венеры на высотах 40—70 км [45, с. 57].

Направление этого движения можно определить таким путем: согласно [30, с. 21], вертикальный градиент температуры равен

$$\gamma = \gamma_{\text{ад}} + (\delta l - \delta q_e) / (C_p dz). \quad (3.5)$$

Если $\delta l < 0$, т. е. над воздухом совершается работа (например, работа расширения водяного пара) и/или если $\delta q_e > 0$, т. е. к воздуху подводится тепло (например, путем поглощения солнечного излучения), то вертикальный градиент становится меньше сухадиабатического и будет тем меньше, чем больше механическое или тепловое воздействие на воздух.

В области с меньшим вертикальным градиентом температуры параметры атмосферы изменяются с высотой медленнее, чем в области, где градиент больше, и если эти области имеют общую границу, то возникает переток воздуха из области с большим градиентом в область с меньшим градиентом. Этот переток происходит на нижних горизонтах.

Применительно к Венере можно заметить, что подсолнечная точка движется с запада на восток с малой скоростью, поэтому „слева“ от нее, т. е. с западной стороны, расположена область, где недавно поглощалась солнечная энергия (при альбедо Венеры 0,77 и пропускании к поверхности Венеры 5 % солнечного излучения [45, с. 81] облачный слой поглощает $0,18e_0$, где $e_0 = 2620 \text{ Вт/м}^2$ — солнечная постоянная на орбите Венеры, т. е. плотность потока солнечного излучения, поглощаемого облачным слоем, равна 110 Вт/м^2), а „справа“, т. е. с восточной стороны, находится область, которая не получала солнечного излучения в течение венерианской ночи. Разность температур на дневной и ночной стороне Венеры составляет примерно 20 К. Следовательно, вертикальный градиент давления к западу от подсолнечной точки будет меньше, чем к востоку, вследствие чего возникает движение облачного слоя с востока на запад и компенсирующее движение с запада на восток в верхних слоях атмосферы. Осталось найти источник энергии, обеспечивающий наблюдаемый прирост кинетической энергии атмосферы в облачном слое.

Если бы сконденсировавшийся водяной пар выпадал в виде дождя на относительно холодную поверхность, то работа водяного пара была бы работой расширения воды от жидкого состояния до газообразного. Однако на Венере осадки выпадают, образно говоря, на раскаленную сковородку. Поэтому водяной пар не полностью совершает работу расширения, так как жидкой воды об-

разуется мало, капли очень мелкие (до 1 мкм, т. е. на 2—3 порядка меньше дождевых капель на Земле [45, с. 80]), да и те почти полностью испаряются во время падения. Однако водяного пара больше, чем на Земле, и работа расширения водяного пара достаточно велика. Таким образом, на Венере осуществляется термодинамический цикл водяного пара, и хотя его работа расширения мало влияет на вертикальный градиент температуры, она является тем источником энергии, за счет которого скорость облачного слоя Венеры увеличивается до 70 м/с.

Водяной пар делает соответствующие слои атмосферы влажными, т. е. их плотность становится меньше плотности сухого воздуха на данной высоте. Влажный воздух поднимается точно так же, как в атмосфере Земли (обычно ошибочно считается, что воздух поднимается вследствие его нагрева [9, с. 160]). Этот подъем продолжается выше уровня конденсации водяного пара, поскольку выделяющаяся теплота конденсации увеличивает силу Архимеда. Подъем происходит по всей поверхности планеты, а после подъема воздух оказывается заключенным в сферическом слое толщиной 20—30 км, так как подъем выше верхней границы облаков невозможен из-за отсутствия источника энергии, а вертикальный градиент температуры на этих высотах меньше сухоадиабатического (согласно выражению (3.4), он равен 4,7 К/км). Отношение скорости вертикального подъема W к скорости горизонтального движения V можно оценить из условия постоянства массового расхода воздуха:

$$\frac{V}{W} = \frac{4\pi r_{\text{п}}^2 \rho}{2\pi r_{\text{п}} \rho \Delta z} = \frac{2r_{\text{п}}}{\Delta z} \quad (3.6)$$

(здесь $r_{\text{п}}$ — радиус Венеры), т. е. при толщине участвующего в горизонтальном движении сферического слоя $\Delta z = 30$ км скорость горизонтального движения 70 м/с будет достигаться при скорости вертикального подъема 15 см/с. Это значение (15 см/с) сильно завышено, так как водяной пар „работает“ на высотах от 37 до 54 км, где температура составляет около 0 °С и толщина „водяного“ облачного слоя — лишь около 5 км. Выше действуют термодинамические циклы соединений воды и серной кислоты.

Работа 1 кг водяного пара равна [30, с. 32]

$$\Delta l = L \ln (T_0 / T_k), \quad (3.7)$$

где T_0 — температура на уровне испарения водяного пара (в рассматриваемом случае — на уровне 37 км, где температура равна 430 К); T_k — температура конденсации, равная в данном случае 295 К, как это показано выше; L — скрытая теплота конденсации водяного пара.

Масса водяного пара приблизительно равна

$$M_{\Pi} = 4\pi r_{\Pi}^2 N \rho \Delta z, \quad (3.8)$$

где N — процентное содержание водяного пара; ρ — плотность воздуха; Δz — толщина слоя, содержащего водяной пар: $\Delta z = 5$ км.

Результаты измерений коэффициента рассеяния атмосферы Венеры [45, с. 80] указывают на то, что верхняя граница облаков находится на высоте 61 км, где температура конденсации равна -15°C , т. е. на этой высоте облака образуются в результате конденсации одного из соединений серной кислоты с водой. По-видимому, значение высоты верхней границы облаков, равное 68 км, получается в результате возгонки атмосферных примесей под воздействием солнечного излучения.

Величина N равна 0,5 % на высоте 44 км и 0,06 % на высоте 54 км; ниже берется среднее значение 0,3 %.

Плотность атмосферы составляет 3,8 кг/м³ на высоте 44 км и 1 кг/м³ на высоте 54 км; ниже берется среднее значение 2,5 кг/м³.

Масса атмосферы в облачном слое равна

$$4\pi r_{\Pi}^2 (P_1 - P_2) / g, \quad (3.9)$$

где P_1 — давление воздуха на уровне нижней границы облаков, P_2 — давление на уровне верхней границы облаков. В рассматриваемом случае $P_1 = 1,4$ атм., $P_2 = 0,1$ атм.

Для проверки достоверности гипотезы о работе расширения водяного пара как об источнике энергии для разгона облачного

слоя атмосферы Венеры до скорости 70 м/с необходимо выяснить, выполняется ли равенство

$$N\rho L \Delta z \ln (T_0 / T_k) = V^2 (P_1 - P_2) / (2g). \quad (3.10)$$

После подстановки данных левая часть этого уравнения оказалась равной $3,5 \cdot 10^7$ Дж/м², а правая $3,9 \cdot 10^7$ Дж/м², т. е. гипотеза довольно достоверна.

Итак, можно считать, что причина возникновения ветров в верхних слоях атмосферы Венеры найдена.

3.2. Следы атмосферы и гидросферы Марса

Множество кратеров, которые видны на Луне, на Меркурии и на спутниках планет-гигантов, свидетельствуют о том, что в эпоху формирования планетной системы околосолнечное пространство „было насыщено множеством отдельных твердых тел, из которых постепенно сложились планеты и спутники“ [3, с. 44]. Доказательством этому служит идентичность составов Земли и метеоритов [17, с. 321, 424; 50, с. 47]. Часть метеоритов является осколками астероидов, т. е. они прошли стадию расплавления и дифференциации вещества. Другая часть метеоритов состоит из первичного материала Солнечной системы — это каменные метеориты [17, с. 264; 50, с. 55], и прежде всего углистые метеориты класса С, содержащие, как сказано выше, до 20 % воды. Нельзя упускать из виду и участие комет в формировании планет: родство комет и астероидов общепризнано [18, с. 266], а запасы льда в кометах оцениваются в 10^{23} кг [18, с. 268]. Кометные ядра содержат, по выражению из [18, с. 268], „грязный лед“. По словам О. Ю. Шмидта, твердые конденсаты метана, аммиака, воды и углекислого газа могли входить в состав твердых частиц (наряду с железом и каменистым веществом), делая их похожими на замороженный лед (цит. по [23, с. 150]).

Аккумуляция метеоритов планетами и их расплавление обусловило дегазацию недр планет уже на ранней стадии их формирования [15], что и привело к созданию атмосферы и „гидросферы“ (кавычки поставлены потому, что эта „гидросфера“ не

обязательно должна состоять из воды). По крайней мере, такой представляется эволюция гидросферы и атмосферы Земли [50, с. 49]. Такой же, по-видимому, была она и у Марса. Но судьбы этих планет оказались разными.

3.2.1. Первичный климат Марса

Для сходства климатов Земле и Марсу, оказывается, недостаточно иметь одинаковые скорости вращения ($7,292 \cdot 10^{-5}$ и $7,078 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ соответственно), одинаковые углы наклона оси вращения к плоскости орбиты ($66^{\circ}33'$ и $66^{\circ}01'$) и близкие значения эксцентриситета орбит (0,017 и 0,098). Сходству климатов препятствует различие масс планет (в 9,3 раза) и значений солнечной постоянной (в 2,25 раза). Эти различия обусловили разный характер эволюции атмосферы и гидросферы Земли и Марса, что привело к формированию столь различающихся климатов.

Ниже не рассматривается современный климат Марса. Его описание можно найти, например, в [35].

Считается, что в состав протопланетного облака входили силикаты, железо и льды из воды, аммиака и метана [26, с. 322]. Судя по составу Юпитера и следам потоков жидкости на поверхности Марса, Марс аккумулировал все эти вещества. Кислород, как это доказано акад. А. П. Виноградовым [50, с. 34], является продуктом фотохимического разложения воды, поэтому его не было в первичной атмосфере как Марса, так и Земли. Не было в атмосфере Марса и азота, так как низкая температура его плавления (63 K) исключает возможность существования твердого азота даже на орбите Плутона, а малая масса планеты создала необходимые температурные условия для протекания реакции $2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3\text{H}_2 - 37 \text{ Дж/моль}$ (около 800 K) на большой глубине, вследствие чего азот и водород не отводятся из зоны реакции и она приобретает обратимый характер.

Не могла и вода оказаться в составе первичной гидросферы Марса, поскольку выплавленные первыми из недр Марса аммиак и метан создали низкую температуру на его поверхности, поддержанию которой способствовало установление теплового баланса между излучением поверхности и количеством поглощаемого ею

солнечного излучения. В результате вода в жидком состоянии находится на Марсе на глубине более 10 км (более точно сказать нельзя, так как в теории внутреннего строения Марса распределение температуры по глубине вообще задается „априорно“ [26, с. 324]). На меньших глубинах вода существует в виде льда, поскольку на поверхности Марса средняя температура была близка к 225 К, как это будет показано ниже. Поэтому вода не могла выйти на поверхность Марса в больших количествах, хотя, вероятно, происходили выбросы перегретого пара в виде гейзеров и другие эруптивные явления.

Таблица 3.2

Температура плавления ($T_{пл}$) и температура кипения ($T_{кип}$) воды, аммиака и метана

Вещество.	Вода	Аммиак	Метан*
$T_{пл}$, К.	273	196	—
$T_{кип}$, К.	373	240	110

*Критическая температура метана равна 191 К.

Из табл 3.2 видно, что в процессе сжатия планеты и ее бомбардировки метеоритами, сопровождавшимися разогревом планеты, первым на поверхность Марса вышел метан. При средней температуре поверхности 226 К он испарился и стал первичной атмосферой Марса, а аммиак, появившийся на поверхности вторым, остался в жидком состоянии, став океаном Марса.

Частичная дегазация Марса (по оценкам [35, с. 61], Марс дегазирован в четыре раза меньше, чем Земля) вызвала сжатие литосферы, уменьшение ее момента инерции и, как следствие, увеличение скорости ее вращения. Для сохранения момента количества движения атмосфера и гидросфера Марса должны были прийти в быстрое движение в противоположном направлении. Следы этого бурного движения смеси аммиака и метана видны до сих пор. Со временем скорость движения этой смеси относительно поверхности уменьшилась практически до нуля, а скорость вращения возвратилась к своему исходному значению. Как будет

показано ниже, глубина аммиачного океана не могла быть большой, поэтому вместо океана существовали моря, очертания которых можно выделить на снимках Марса.

При рассмотрении быстрого движения гидросферы и атмосферы можно использовать предположение о равномерном распределении солнечной энергии между всеми широтами планеты. Для планеты, не защищенной атмосферой от солнечного излучения, приходящая энергия (E_1), поглощаемая энергия (E_2) и излучаемая энергия (E_3) определяются следующими выражениями:

$$E_1 = \pi r_{\Pi}^2 e_0, \quad (3.11)$$

где e_0 — солнечная постоянная, для Марса $e_0 = 590 \text{ Вт/м}^2$; r_{Π} — радиус планеты, для Марса $r_{\Pi} = 3,40 \cdot 10^6 \text{ м}$;

$$E_2 = (1 - a) \pi r_{\Pi}^2 e_0, \quad (3.12)$$

где a — альbedo планеты; в рассматриваемый период может быть принято равным альbedo земного океана, т. е. $a = 0,1$;

$$E_3 = 4\pi r_{\Pi}^2 \delta \sigma T^4, \quad (3.13)$$

где δ — излучательная способность поверхности; для воды $\delta = 0,9$. Такой принимается она и для поверхности Марса в тот период.

Из условия равенства поглощаемой и излучаемой энергии, т. е. из закона Кирхгофа, получается величина равновесной температуры поверхности Марса в период бурного движения его атмосферы и гидросферы: $T_1 = 226 \text{ К}$. Это некоторая средняя температура, хотя при преимущественно зональном характере движения должны были существовать большие широтные различия. Так, например, приведенные выше рассуждения применительно к экваториальной области дают температуру $T_2 = 240 \text{ К}$, а около полюсов температура понижается до 0 К .

После разделения атмосферы и океана начинает работать тепловая машина, рабочим телом которой является аммиачный пар,

нагревателем — поверхность океана, а холодильником — верхние слои атмосферы.

Температура на границе океан—атмосфера T_0 может быть определена по формуле [30, с. 41]:

$$\ln(T_0 / T_{\text{пл}}) = RT_{\text{пл}} / L, \quad (3.14)$$

где R — газовая постоянная аммиака, $R = 488$ Дж/кг; L — удельная теплота парообразования аммиака, $L = 1,37$ МДж/кг. Значение T_0 получается равным 210 К.

Вертикальный градиент температуры атмосферы определяется по формуле [29, с. 41]:

$$\gamma = g(k_1 - 1) / (k_1 R), \quad (3.15)$$

где k_1 — показатель адиабаты атмосферы (т. е. метана), $k_1 = 1,33$; R — газовая постоянная пара вещества океана (т. е. аммиака).

Таким образом, в первичной атмосфере Марса вертикальный градиент температуры был равен 1,9 К/км, и на высоте около 8 км аммиак конденсировался и выпадал на поверхность Марса. Образующиеся облака (а их количество превышало 5 баллов) увеличивали альбедо планеты, тем самым уменьшая плотность потока солнечного излучения, приходившего к поверхности Марса. Вследствие этого понизились средняя температура и температура в экваториальной области, а макроциркуляционные процессы сгладили межширотные различия температур.

Таким путем — на уровне гипотезы, конечно, — мог возникнуть аналог земной климатической системы, который существовал миллиарды лет. Правда, такой климат не может быть назван теплым, как это предполагается в [35, с. 7], но он, вероятно, был пригоден для возникновения и продолжительного существования биосферы явно „неземного“ типа.

3.2.2. Процесс потери Марсом атмосферы и гидросферы

Продолжительность существования описанного выше первичного климата Марса можно приближенно оценить следующим путем. Пусть масса гидросферы и атмосферы пропорцио-

нальна массе планеты безотносительно к их составу, т. е. ниже принимается, что масса гидросферы и атмосферы Марса „в начальный момент времени“ равна

$$m_M = m_3 M_M / M_3, \quad (3.16)$$

где m_3 — масса гидросферы и атмосферы Земли, $m_3 = 138 \times 10^{19}$ кг; M_M/M_3 — отношение масс Марса и Земли, $M_M/M_3 = 0,1075$.

Таким образом, первоначальная масса гидросферы и атмосферы Марса равна $m_M = 1,4 \cdot 10^{20}$ кг, из которых $5,5 \cdot 10^{17}$ кг — масса атмосферы. При температуре 243 К и давлении 0,119 МПа плотность аммиака равна 676 кг/м³ [25, с. 232], т. е. средняя глубина океана Марса составляла около 150 м. Учитывая высокую степень расчлененности рельефа Марса по высотам, можно предположить существование на Марсе морей вместо океана.

Для ответа на вопрос, как Марс потерял свои первичные гидросферу и атмосферу, нужно найти способы приобретения молекулами второй космической скорости, равной для Марса 5,1 км/с. Если не рассматривать действие солнечного излучения на ионы атмосферы, влияние Юпитера и столкновение с крупным астероидом, остаются два пути: неравномерность распределения скоростей теплового движения молекул и непосредственное воздействие квантов солнечного излучения на молекулы атмосферы.

Конечно, не каждая молекула, получившая вторую космическую скорость, покинет планету, так как через доли секунды она столкнется с другой молекулой и передаст ей часть своего количества движения. Только 1/6 часть молекул будет двигаться в сторону от планеты. Уход молекул происходит в верхних слоях атмосферы, где длина свободного пробега достаточно велика, но при этом уменьшается площадь эффективного взаимодействия излучения и вещества.

Из этого следует, что последующие расчеты не могут рассматриваться как точные. Однако главная цель — показать возможность некатастрофической потери Марсом своих гидросферы и атмосферы — будет достигнута.

Ввиду близости молекулярных масс метана и аммиака (16 и 17 кг/кмоль соответственно) ниже рассматривается только процесс потери аммиака.

Легко убедиться, что потеря атмосферы вследствие неравномерности распределения скоростей теплового движения молекул невозможна. Действительно, из максвелловского распределения скоростей молекул следует, что относительная доля молекул со скоростями из единичного интервала $(V, V + dV)$ равна [80, с. 205]

$$\frac{dN}{N} = 4V^2 (8\pi R^3 T^3)^{-1/2} \exp\left(-\frac{V^2}{2RT}\right) dV, \quad (3.17)$$

где R — газовая постоянная рассматриваемого газа, T — его абсолютная температура.

Даже при максимальной температуре, возможной на Марсе, т. е. при эффективной температуре солнечного излучения на орбите Марса $T_{\text{эф}}$, определяемой из соотношения

$$T_{\text{эф}} = (e_0 / \sigma)^{1/4} = 320 \text{ К}, \quad (3.18)$$

где e_0 — солнечная постоянная, для Марса $e_0 = 590 \text{ Вт/м}^2$; σ — постоянная Стефана—Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$, доля молекул аммиака, скорость которых не менее 5,1 км/с, равна

$$\frac{dN}{N} = 1,6 \exp(-160) dV, \quad (3.19)$$

т. е. практически равна нулю.

Более реален способ сообщения молекулам необходимого количества кинетической энергии путем передачи ее квантами солнечного излучения. Для получения необходимого количества движения одной молекулой необходимо, чтобы вторая молекула или группа молекул получила в момент передачи энергии такой же, но противоположно направленный импульс.

Кинетическая энергия молекулы аммиака, скорость которой равна второй космической скорости, составляет $70 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$.

Для сравнения можно отметить, что при $T = 320$ К средняя кинетическая энергия теплового движения молекул аммиака равна $1,3 \cdot 10^{-20}$ Дж [36, с. 201], т. е. ее величиной можно пренебречь. Энергию $70 \cdot 10^{-20}$ Дж имеют кванты с частотой $\nu = 1 \cdot 10^{15}$ с⁻¹, т. е. с длиной волны $\lambda = 300$ нм. Доля квантов с частотой не менее $1 \cdot 10^{15}$ с⁻¹ в солнечном излучении равна 1,23 % [68, с. 440], т. е. на „разгон“ молекул аммиака до второй космической скорости может расходоваться не более 7,3 Вт/м², если площадь эффективного сечения взаимодействия молекул и излучения составляет 100 % облучаемой площади, а все молекулы, получившие такую скорость, сразу же покидают планету. Конечно, эти условия не выполняются, и степень отклонения от этих условий установить трудно.

Потеря атмосферы происходит, естественно, в верхних слоях атмосферы. Пусть это будут слои, где длина свободного пробега равна 100 км и более. Длина свободного пробега определяется соотношением

$$L = \frac{1}{nF}, \quad (3.20)$$

где F — площадь эффективного сечения взаимодействия, $F = \pi d^2 / 6$; d — максимальный размер молекул, для аммиака $d = 0,16$ нм [43, с. 144], и, следовательно, $F = 1,3 \cdot 10^{-20}$ м²; n — концентрация молекул.

Тогда для длины свободного пробега 100 км концентрация молекул не должна превышать $4 \cdot 10^{14}$ молекул/м³. В атмосфере Земли такая концентрация существует на высоте около 300 км [76, с. 340]. В столбе атмосферы высотой от 300 до 1000 км с площадью поперечного сечения 1 м² находится $5 \cdot 10^{15}$ молекул с общей площадью эффективного сечения $6,5 \cdot 10^{-5}$ м², и на передачу энергии от квантов к молекулам в этом столбе затрачивается $60 \cdot 10^{-5}$ Вт/м². Этой энергии достаточно для разгона до второй космической скорости $9 \cdot 10^{15}$ молекул/(с · м²), масса которых равна $2,5 \cdot 10^{-11}$ кг. Потеря атмосферы с площади диска Марса, освещенного Солнцем, составляет $1 \cdot 10^3$ кг/с, и первоначальную массу атмосферы и „гидросферы“, равную $1,4 \cdot 10^{20}$ кг, Марс потеряет за $1,6 \cdot 10^{17}$ с, т. е. приблизительно за 5 млрд лет.

Сначала он теряет атмосферу, а затем исчезает и океан вследствие нарушения одного из трех условий его существования на планете [9, с. 147]: парциальное давление атмосферных газов становится меньше давления насыщенного пара вещества океана.

Конечно, полученное значение (5 млрд лет) весьма приблизительно. Но как бы то ни было, продолжительность существования первичного климата на Марсе кажется достаточной для возникновения биосферы, которую можно было бы назвать аммиачно-метановой, если наша биосфера является водно-кислородной.

Этот эволюционный путь может сопровождаться катастрофическими явлениями в ходе „ударного“ аккумуляирования частиц. Как показали Дж. Меллош и Э. Викиери (Университет штата Аризона, США), [84], достаточно столкновения Марса с частицей диаметром около 3 км для потери им значительной части атмосферы вследствие возникновения столба раскаленного газа, расширяющегося со скоростью, превышающей первую космическую скорость (для такого воздействия на земную атмосферу нужна „частица“ диаметром не менее 13 км).

3.2.3. О возможности заселения Марса

Пока о возможности создания на Марсе климата, подобного земному, можно говорить лишь в полуфантастическом ракурсе. Однако технические возможности человечества растут, а численность населения растет еще быстрее, поэтому нельзя исключать переселение части населения в далеком будущем на Марс как один из способов решения демографической проблемы.

Существует следующий проект освоения Марса. Профессор К. Маккей из Эймского исследовательского центра НАСА в Калифорнии и М. Эйвернер, руководитель биосферных исследований в Вашингтонской штаб-квартире НАСА, предложили повысить температуру на поверхности Марса путем использования либо парникового эффекта, либо гигантских зеркал, отражающих солнечное излучение на полярные шапки Марса. Парниковый эффект предлагается усилить либо за счет насыщения атмосферы Марса химическими веществами, которые улавливали бы солнечное излучение, либо путем растопления полярных шапок,

содержащих углекислый газ и воду. В результате температура повышается на 12 К, планета засеивается семенами соответствующих растений, затем, через столетия, начинается эпоха животных и, наконец, человека. Таким образом через несколько столетий Марс, ускоренно пройдя путь эволюции биосферы Земли, станет новой родиной для человечества.

Этот проект нельзя считать удачным решением проблемы освоения Марса просто потому, что в случае его осуществления атмосфера Марса будет отравлена углекислым газом и газами, использованными для улавливания солнечного излучения. Главная ошибка авторов проекта — рассмотрение парникового эффекта как единственной причины повышения температуры атмосферы у поверхности планеты.

Представляется, что проблему освоения Марса нужно решать другим путем.

Для создания нормальных климатических условий нужно, чтобы на поверхности Марса давление и температура были „земными“, т. е. давление равнялось одной атмосфере и температура составляла 288 К. Для этого нужна атмосфера массой

$$m = p_0 F / g = 3,9 \cdot 10^{16} \text{ кг}, \quad (3.21)$$

из них $7,8 \cdot 10^{15}$ кг кислорода и $31,2 \cdot 10^{15}$ кг азота.

Альbedo Марса будет таким же, как альbedo Земли, т. е. приблизительно $a = 0,3$. Тогда из условия баланса энергии в излучающем слое атмосферы

$$4\pi r_M^2 \sigma T_{\text{изл}}^4 = \pi r_M^2 e_0 (1 - a) \quad (3.22)$$

можно найти температуру излучающего слоя:

$$T_{\text{изл}} = [e_0 (1 - a) / (4\sigma)]^{1/4} = 207 \text{ К}. \quad (3.23)$$

Вертикальный градиент температуры в тропосфере Марса будет равен

$$\gamma = g (k - 1) / (kR) = 3,5 \text{ К/км}, \quad (3.24)$$

т. е. излучающий слой будет располагаться на высоте 21,5 км. Нижняя граница облаков на Марсе будет находиться в полтора раза дальше от поверхности, чем на Земле.

Однако на Марсе были уже и атмосфера, и гидросфера. Не повторится ли снова процесс потери — ответ на этот вопрос можно получить из следующих простых рассуждений. Кинетическая энергия молекулы азота, скорость которой равна второй космической, составляет $110 \cdot 10^{-24}$ Дж. Такую энергию имеют кванты с частотой $1,6 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$, т. е. с длиной волны 180 нм. Доля квантов с такой и большей энергией в солнечном излучении составляет менее 0,02 % [68, с. 440], т. е. на разгон молекул до второй космической скорости может быть затрачено не более 0,12 Вт/м². Приведенные выше расчеты доказывают, что если затратить на разгон молекул 7,3 Вт/м² (т. е. в 60 раз больше), то продолжительность рассеяния в космосе $1,4 \cdot 10^{20}$ кг метана и аммиака составит около 5 млрд лет. Следовательно, массу атмосферы из кислорода и азота в $3,9 \cdot 10^{16}$ кг можно рассеять этим способом приблизительно за 50 млн лет.

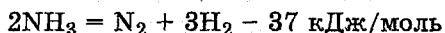
Таким образом, стабильность атмосферы легко достигается.

Вода на Марсе, как показано в п. 3.2.1, находится в жидком состоянии на глубинах более 10 км, а на меньших глубинах она существует в виде льда. Поэтому принципиальных затруднений с созданием океана не возникнет. Наоборот, борьба с таянием вечной мерзлоты и поступлением воды из недр Марса будет постоянной заботой колонистов.

Источником кислорода, как и на Земле, станет вода — ее фотохимическое или электролитическое разложение.

Сложнее технически обеспечить поступление азота.

Известно [43, с. 141, 154], что реакция превращения аммиака в азот и водород



происходит при температуре около 800 К. Такая температура на Марсе существует на больших глубинах. Но можно использовать известные промышленные технологии, получая при этом топливо для водородной энергетики будущей цивилизации Марса.

Последовательность событий представляется такой: создание азотной атмосферы, создание океана, насыщение атмосферы кислородом. На это понадобятся столетия, и вряд ли человечество сможет так долго заниматься столь сложным и дорогим делом во имя отдаленных потомков.

3.3. Климат Земли как результат действия астрономических и физических факторов

В этом параграфе показано, что астрономические факторы формирования климата Земли (форма и размеры орбиты, состав протооблака в зоне формирования Земли, плотность вещества Земли и величина вектора скорости ее вращения) в совокупности с физико-химическими факторами (состав атмосферы и океана, стабильность физических и химических свойств воды и воздуха, а также особые свойства воды — большая теплоемкость и уменьшение плотности при замерзании) обеспечили необходимые условия для возникновения и существования биосферы.

3.3.1. Влияние астрономических факторов на формирование климата Земли

При чтении работ по климатологии и гидрометеорологии иногда создается впечатление, что они написаны какими-то космическими путешественниками, так как предлагаемые подходы к решению проблем применяются для любой планеты, лишь бы на ней были атмосфера и океан с любыми физико-химическими свойствами.

Конечно, часть свойств Земли являются общими для всех планет. К ним относятся достаточно большая масса, шарообразность формы, эллиптичность орбиты, расслоение вещества планеты вследствие его нагрева при переходе части гравитационной энергии в тепловую форму и при столкновении с астероидами, метеоритами и кометами. С меньшим числом планет Землю роднит наличие одной звезды в качестве центрального тела планетной системы (как известно, не более одной пятой звезд можно называть одиночными), с еще меньшим числом планет она сходна по дифференцированности вещества на атмосферу, океан и литосфе-

ру, и лишь единицы имеют, как Земля, водяной океан, кислородно-азотную атмосферу, малый эксцентриситет орбиты и достаточно большую скорость вращения относительно своей оси.

Однако есть одно свойство, присущее, как представляется, только нашей планете, — это почти единственно пригодная для существования биосферы величина радиуса орбиты, точнее говоря, почти единственно приемлемая величина солнечной постоянной, которая, с одной стороны, достаточно велика, чтобы сохранить среднюю температуру вод океана выше точки замерзания воды в период формирования планет (в противном случае вместо океана на Земле существовали бы более или менее глубокие проталины в сплошной ледяной массе), а с другой стороны, достаточно мала, чтобы вся вода постепенно не превратилась во взрывоопасную смесь водорода и кислорода в результате фотохимической реакции. Ясно, что в таком варианте Земля потеряла бы и океан, и атмосферу в результате непрекращающихся взрывов гремучего газа (может быть, это и произошло на Венере).

Можно отметить и другую особенность Земли — достаточно большое ускорение свободного падения, вследствие чего вторая космическая скорость оказалась достаточно велика, чтобы воспрепятствовать уходу в космос основных атмосферных газов. Кроме того, такая величина ускорения свободного падения совместно с малой молекулярной массой воды обусловили формирование вертикального градиента температуры тропосферы, который, с одной стороны, достаточно велик, чтобы количество облаков ненамного превышало 5 баллов (при уменьшении этого градиента оно может достигнуть 7 баллов, что означало бы установление отрицательной температуры на большей части поверхности Земли), а с другой стороны, достаточно мал, чтобы обеспечить переход потенциальной энергии положения частицы над уровнем моря в кинетическую энергию при уменьшении высоты положения частицы над уровнем моря, что является необходимым условием работы климатической системы Земли.

Не может быть произвольным и угол наклона оси вращения к плоскости эклиптики: с увеличением угла наклона возрастает неравномерность температурного и светового режимов (при положении оси вращения в плоскости эклиптики длительность суток стала бы равной году, а при перпендикулярности оси вращения плоскости эклиптики исчезли бы межсезонные изменения погоды).

Форма орбиты обеспечила малую внутригодовую изменчивость климата и не только это, как будет показано ниже.

Формирование Земли произошло с участием астероидов, метеоритов и комет (согласно табл. 2.6, они составляют 1,7 % массы Земли. Очевидно, что малость массы Земли, присоединенной „ударным“ способом, обеспечила малую величину эксцентриситета орбиты Земли). Поэтому в ее состав помимо других веществ вошли аммиак, метан и вода. В процессе разогрева Земли произошла ее дегазация. Первым на поверхности прото-Земли появился метан, за ним аммиак и, наконец, вода. Уплотнение планеты после дегазации вызвало уменьшение момента инерции литосферы и, как следствие, увеличение скорости ее вращения. В соответствии с законом сохранения момента количества движения смесь воды, аммиака и метана должна была двигаться с большой скоростью в направлении с востока на запад. При этом образовалась водно-газовая смесь, температура которой может быть определена как температура поверхности, равномерно освещенной Солнцем:

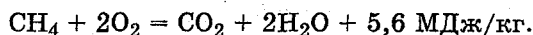
$$T = [e_0 (1 - a) / (4\sigma\delta)]^{1/4}, \quad (3.25)$$

где a — альбедо прото-Земли, покрытой водно-газовой смесью, e_0 — величина солнечной постоянной, σ — постоянная Стефана—Больцмана, δ — излучательная способность водно-газовой смеси. Если принять $1 - a = \delta = 0,9$, то эта температура будет равна 278 К. Приблизительно такую среднюю температуру имеет Мировой океан до сих пор как реликт ранней истории Земли.

Достаточно было бы солнечной постоянной уменьшиться до 1260 Вт/м² вследствие уменьшения светимости Солнца, увеличения радиуса орбиты до 157 млн км или увеличения эксцентриситета орбиты, как средняя температура водно-газовой смеси стала бы отрицательной и на поверхности ледяного океана возник бы мелководный бассейн, на границе которого с атмосферой температура была бы равна 15 °С, как это следует из физических свойств воды.

В этом заключается неповторимость орбиты Земли: в афелии Земля находится на расстоянии 152 млн км от центра масс Солнца, т. е. всего 3 % радиуса ее орбиты отделяли Землю от режима ледяного океана.

Постепенное замедление движения водно-газовой смеси вследствие действия сил трения привело к разделению атмосферы и океана. Аммиак в воде и в атмосфере начал разлагаться на азот и водород согласно реакции $\text{NH}_3 = \text{N}_2/2 + 3\text{H}_2/2 - 37 \text{ кДж/моль}$. Значение 37 кДж/моль соответствует значению $6,15 \cdot 10^{-20} \text{ Дж/молекула}$. Такую энергию имеют кванты с частотой 10^{14} с^{-1} , т. е. с длиной волны 3 мкм. Такой и большей энергией обладают 98 % квантов солнечного излучения [68, с. 440], поэтому процесс разложения аммиака прошел быстро (по космическим масштабам). Согласно А. П. Виноградову [50, с. 34], вода разлагается на водород и кислород под действием солнечного излучения. Наличие кислорода обеспечило протекание реакции окисления метана:



Углекислый газ растворился в воде. В итоге получился водяной океан, пока еще пресный, и кислородно-азотная атмосфера.

Благодаря тому, что вторая космическая скорость велика, даже молекулы водорода не могут покинуть атмосферу Земли за счет скорости своего теплового движения. Действительно, из ранее использованной формулы (3.17)

$$\frac{dN}{N} = 4V^2 (8\pi R^3 T^3)^{-1/2} \exp\left(-\frac{V^2}{2RT}\right) dV \quad (3.26)$$

следует, что даже при температуре, равной температуре солнечного излучения на орбите Земли $T_{\text{эф}} = 395 \text{ К}$, относительная доля молекул водорода, скорость теплового движения которых превышает вторую космическую скорость, имеет порядок

$$\frac{dN}{N} \sim \exp(-344), \quad (3.27)$$

т. е. практически равна нулю. В то же время нельзя исключать возможность ухода в космос атмосферных газов в результате фотодиссоциации в верхних слоях атмосферы или процесса передачи необходимого количества движения непосредственно квантами солнечного излучения.

Скорость вращения Земли относительно своей оси достаточно велика, чтобы сглаживать внутрисуточные колебания температуры за счет тепловой инерции океана и суши. Физико-химические свойства атмосферных газов и воды, как отмечалось выше, стабильны в широком диапазоне значений температуры и давления.

Все эти факторы способствовали созданию климатической системы, параметры которой частично постоянны, а частично изменяются в довольно узких пределах при сохранении их среднего по Земле значения, согласно правилу Г. Дове.

3.3.2. Физические основы стабильности климата Земли

Безусловно, главной опорой стабильности климата Земли является постоянство средней равновесной температуры на уровне океана (T_0). Как видно из формулы

$$T_0 / T_k = \exp(R_{\pi} T_0 / L), \quad (3.28)$$

связывающей T_0 с параметрами водяного пара (температурой конденсации T_k , газовой постоянной R_{π} и теплотой конденсации L), величина T_0 полностью определяется физическими свойствами воды.

Следует сделать такое замечание по поводу термина „равновесная температура“: обычно считается, что это та температура, которая установится в каждой части термодинамической системы при достаточно продолжительной изоляции ее от окружающей среды. Ясно, что атмосферу и океан нельзя изолировать от внешней среды, и температура в отдельных частях атмосферы и океана будет различаться. Поэтому под термином „равновесная температура“ в данной книге понимается та температура, которая установилась бы в рассматриваемой термодинамической системе при равенстве количества тепла, получаемого и отдаваемого системой (такой режим естественно назвать адиабатическим; ясно, что он не будет изэнтропическим). Существуют „вечно неравновесные“ температуры, например средняя температура вод океана, температура поверхности воды под льдом и пр. Но в среднем на Земле количество получаемого тепла равно количеству отдаваемого, и температура на уровне океана равна 15 °С.

Это значение случайно совпадает со средней приземной температурой вследствие удачного расположения суши и ее размеров, а также за счет „астрономических“ параметров Земли.

Важным (хотя не столь очевидным, как приземная температура) фактором является постоянство среднего глобального значения вертикального градиента температуры тропосферы.

Повышение температуры воздуха по мере приближения к земной поверхности обычно считается доказательством утепляющего воздействия атмосферы на климат под влиянием парникового эффекта. В этом заключается исходная идея теории парникового эффекта: если атмосфера — „теплое одеяло“, спасающее биосферу от вымерзания, то не может ли это „одеяло“ стать слишком теплым, поскольку его утепляющее свойство зависит от ничтожного количества атмосферных примесей, увеличивающегося при сжигании органического топлива?

Конечно, эти рассуждения построены на недоразумении.

Уменьшение температуры воздуха по мере удаления от земной поверхности является естественным следствием законов гидростатики — это просто результат работы расширения воздуха при переходе его в область с меньшим давлением.

Как показано в главе 1, величина вертикального градиента равна

$$\gamma = \gamma_{ад} - (\delta q_e - \delta l) / (C_p dz), \quad \gamma_{ад} = g / C_p. \quad (3.29)$$

Если нет внешнего воздействия (т. е. воздух не совершает работу ($\delta l = 0$) и к нему не подводится тепло ($\delta q_e = 0$) или теоретически возможный случай ($\delta l - \delta q_e = 0$)), то градиент равен сухоадиабатическому градиенту $\gamma = \gamma_{ад}$. При нарушении этих условий $\gamma \neq \gamma_{ад}$. В частности, если из работы расширения воздуха вычитается работа расширения водяного пара, то градиент становится меньше $\gamma_{ад}$. Это объясняется тем, что работа расширения водяного пара уменьшает степень расширения воздуха, так как водяной пар совершает работу над воздухом в борьбе за место в атмосфере и его работа отрицательна. Поэтому испарение уменьшает величину вертикального градиента температуры тропосферы.

Можно уменьшить градиент и подогревом воздуха при его подъеме. При этом происходит следующее: в процессе подъема воздух охлаждается вследствие его расширения, а подогрев уме-

ньшает степень охлаждения, уменьшая тем самым вертикальный градиент температуры.

В этой книге не рассматривается роль инверсий, хотя они заметно влияют на процессы в атмосфере. Например, инверсия прерывает процесс теплопроводности в атмосфере и тем самым препятствует охлаждению подстилающей поверхности; инверсии способствуют накоплению водяного пара в подынверсионном слое, что обеспечивает энергетическую базу взрывного характера развития индийского муссона и Эль-Ниньо.

Таким образом, вертикальный градиент температуры зависит лишь от физических свойств воды и воздуха и массы и размеров Земли, как это видно из формулы для среднего глобального значения вертикального градиента температуры тропосферы

$$\gamma = g (k - 1) / (kR_{\Pi}) \quad (3.30)$$

(свойства воздуха учитываются показателем адиабаты воздуха $k = C_p / C_v$, свойства воды — величиной газовой постоянной водяного пара R_{Π} , а масса и размеры Земли — ускорением свободного падения g).

Постоянство средних значений вертикального градиента температуры и приземной температуры влечет за собой постоянство количества облаков и, следовательно, альбедо, так как изменение альбедо подстилающей поверхности мало влияет на глобальное альбедо.

Как видно из изложенного, роль воды в поддержании стабильности климата Земли исключительно велика. Но еще более она возрастает вследствие влияния океана на стабильность климата.

Значительная (около 200 м) толщина деятельного слоя океана [69, с. 122] обеспечивает сглаживание температурных контрастов в пространстве и во времени.

Постоянство толщины деятельного слоя океана поддерживается благодаря постоянной солености Мирового океана с помощью физического процесса — осмоса; в свою очередь, постоянство солености обеспечивается совместным действием физического процесса испарения воды и физико-химического процесса взаимного растворения соленых и пресных вод (подробнее см. [30]).

Можно предположить существование более глубоких связей постоянства состава и солености вод океана с биосферой — недаром состав крови сходен с составом морской воды.

Из сказанного можно заключить, что климат Земли непрерывно воссоздается благодаря не в последнюю очередь физическим свойствам воды и воздуха. Особое место занимает свойство воды увеличивать объем при замерзании. Следствия этого явления общеизвестны (оно оказалось важным даже в процессе развития биосферы); менее известен факт, что водоемы покрываются льдом почти в 10 раз медленнее, чем освобождаются от него [12], благодаря этому свойству воды, напрямую, таким образом, связанному с климатом.

3.3.3. Приземная температура при наличии и в отсутствие океана

Целесообразно еще раз подчеркнуть необходимость охлаждения поверхности Земли, что и осуществляется с помощью гигантского кондиционера, рабочим телом которого является водяной пар, источником энергии — Солнце, холодильником — верхние слои атмосферы, нагревателем — поверхность океана. Атмосфера в этом кондиционере является его внутренним объемом, осуществляющим хранение и перемещение рабочего тела, а также изменение его параметров.

Ниже показано, что все более или менее реалистичные модели климатической системы Земли свидетельствуют о необходимости охлаждать поверхность Земли, а не нагревать ее с помощью парникового эффекта.

Источником многих недоразумений является представление о том, что температура солнечного излучения на орбите Земли равна 5,7 тыс. градусов. Такое представление проникло даже в справочную литературу (см., например, [68, с. 442]). На самом деле эффективная температура солнечного излучения на орбите Земли равна 394 К. Такую температуру имел бы плоский участок абсолютно черного тела, перпендикулярный солнечным лучам, на верхней границе атмосферы в условиях термодинамического равновесия.

Если максимальное количество солнечной энергии, достигающей подстилающей поверхности, равно 80 % ее значения на вер-

хней границе атмосферы, то максимальная температура абсолютно черной поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, была бы равна $373 \text{ K} = 100^\circ \text{C}$ при выполнении условия термодинамического равновесия.

Ясно, что в этой простейшей модели, в которой климатическая система Земли заменена двумя параллельными абсолютно черными пластинками, разделенными поглощающей средой, совершенно не учитываются форма и вращение Земли.

Если свернуть пластинку, заменяющую в этой модели подстилающую поверхность, в круговой цилиндр, вращающийся вокруг своей оси с угловой скоростью Ω , то температура на образующих цилиндра будет зависеть от Ω : при $\Omega = 0$ она будет уменьшаться от 373 K в подсолнечной точке до 0 K за крайними точками освещенной поверхности цилиндра. При очень больших Ω плотность потока излучения уменьшится в π раз по сравнению с плотностью потока на плоскость, и средняя температура на поверхности абсолютно черного цилиндра при пропускании 80 % солнечного излучения к его поверхности будет равна 280 K . При уменьшении Ω неравномерность распределения температуры возрастает (здесь нужно отметить, что столь низкая средняя температура (280 K) получается вследствие того, что излучение подстилающей поверхности происходит в полусферу в условиях отсутствия атмосферы).

По-видимому, не лишено оснований предположение о влиянии Ω на климат: в [74, с. 25] упомянута гипотеза, согласно которой ледниковый период завершился при замедлении вращения Земли до 20 ч/оборот.

Сферичность Земли учтена в следующей модели. Пусть вращающаяся Земля, лишенная атмосферы и океана, находится в состоянии термодинамического равновесия, т. е. приходящее излучение Солнца на подстилающей поверхности равно ее излучению. В этом случае на неосвещенной части Земли всегда будет 0 K , а на освещенной температура будет зависеть от зенитного угла Солнца ψ ($\psi = 0$ при положении Солнца в зените), если подстилающая поверхность однородна. Пусть для простоты она будет абсолютно черной. Тогда:

— приходящая мощность излучения Солнца равна $2\pi e_0 R^2 \sin \psi \cos \psi d\psi$,

— излучение абсолютно черной подстилающей поверхности равно $2\pi\sigma R^2 T^4 \sin\psi d\psi$.

Из условия равенства этих величин получается температура абсолютно черной поверхности для рассматриваемой модели: $T = (e_0 \cos\psi / \sigma)^{1/4}$. Значения этой температуры приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Зависимость температуры абсолютно черной подстилающей поверхности Земли, лишенной атмосферы и океана, от зенитного угла Солнца ψ

ψ	0	15	30	45	60	75	90
T К . . .	394	390	380	361	331	281	0

Средняя температура по освещенному Солнцем полушарию равна

$$\langle T \rangle = (e_0 / \sigma)^{1/4} \int_0^{\pi/2} \cos^{1/4}\psi \sin\psi d\psi = \frac{4}{5} (e_0 / \sigma)^{1/4} = 315 \text{ К} \quad (3.31)$$

Атмосфера и океан совместно с Солнцем изменяют этот „лунный“ климат, делая его пригодным для существования биосферы. Поэтому модели климатической системы Земли, не учитывающие существование атмосферы и океана, некорректны, как и полученные на их основе выводы, в частности вывод об установлении на поверхности температуры 255 К в отсутствие парникового эффекта.

В конечном итоге вся поглощаемая Землей солнечная энергия излучается на границе, разделяющей слои атмосферы по величине вертикального градиента температуры (внизу — положительный градиент, вверху — нулевой, т. е. механизм теплопроводности не действует выше этой границы) и по влагосодержанию. На этой границе излучение из каждого элементарного объема осуществляется в сферу, и температура на ней определяется из соотношения

$$2\sigma T_{\text{изл}}^4 = e_0 (1 - a) / 4; \quad T_{\text{изл}} = 214 \text{ К.} \quad (3.32)$$

Таким образом, она почти точно равна температуре тропопаузы, согласно Международной стандартной атмосфере.

Как уже было отмечено в главе 1, в общем случае передача от подстилающей поверхности излучением неэффективна вследствие как малой разности температур подстилающей поверхности и прилегающего к ней слоя воздуха, так и поглощения излучения в тонком приземном слое атмосферы. Поэтому величина излучения подстилающей поверхности, перпендикулярного поверхности земного сфероида, важна лишь для составления теплового баланса подстилающей поверхности. Эта величина равна [11, с. 393; 70, с. 432]

$$q_N = \varepsilon q_{\text{С-В}} / \pi, \quad (3.33)$$

где q_N — нормальная составляющая плотности потока излучения; ε — относительный коэффициент излучения; $q_{\text{С-В}}$ — плотность потока излучения в полусферу согласно закону Стефана—Больцмана.

Можно отметить, что для ламбертова излучателя интенсивность излучения (т. е. полный поток энергии, проходящий в единицу времени через единичную площадку в направлении нормали к ней и рассчитанный на единицу телесного угла, или нормальная составляющая потока излучения) в π раз меньше плотности потока в полусферу и является потоком излучения в конусе с углом полураствора $32,4$ градуса.

Следующей по сложности будет такая модель. Пусть сферическая Земля окружена на верхней границе атмосферы концентрической излучающей сферой с плотностью излучения $e_0/4$. В этой модели не происходит смены дня и ночи и скорость вращения Земли не играет роли. Температура подстилающей поверхности определяется из баланса энергии:

$$e_0 (\alpha + \beta) / 4 + \sigma T_{\text{пл}}^4 / \pi = e_0 (1 - a) / 4, \quad (3.34)$$

где a — альбедо Земли, принимается $a = 0,3$; α — доля солнечного излучения, поглощаемая атмосферой; принимается $\alpha =$

$= 0,12$; β — доля солнечного излучения, расходуемая на испарение; принимается $\beta = 0,22$.

Температура подстилающей поверхности, согласно (3.34), равна

$$T_{\text{пп}} = [(\pi e_0 (1 - a - \alpha - \beta) / (4\sigma))]^{1/4} = 287 \text{ К} \quad (3.35)$$

и практически совпадает с температурой на уровне океана, полученной в п. 1.1.2, и с фактическими данными. Однако между способами получения этих величин есть различие: величина температуры на уровне океана, полученная в п. 1.1.2 с использованием методов термодинамики, зависит только от физических свойств воды, а температура в выражении (3.35) зависит от солнечной постоянной, альбедо Земли, поглощения солнечного излучения атмосферой и затрат на испарение, причем ее изменение сильно зависит от изменения этих величин:

$$\delta T_{\text{пп}} = 0,05 \delta e_0 - 200 (\delta a + \delta \alpha + \delta \beta). \quad (3.36)$$

Глобальное альбедо зависит, главным образом, от количества облаков, которое постоянно. Поэтому постоянны и затраты на испарение. Следовательно, изменения температуры подстилающей поверхности в глобальном масштабе зависят, главным образом, от степени прозрачности атмосферы для солнечного излучения, а локальное значение температуры зависит от a , α и β .

Максимальное значение температуры подстилающей поверхности в этой модели можно найти при условии отсутствия облачности и затрат на испарение. Альбедо в этом случае будет равно 0,08 (см. схему теплового баланса Земли в п. 1.2.3). При $\alpha = 0,12$ максимальная температура равна

$$T_{\text{пп max}} = [(\pi e_0 (1 - a - \alpha) / (4\sigma))]^{1/4} = 351 \text{ К}, \quad (3.37)$$

что довольно близко к рекордным значениям температуры (353 К по [57, с. 96]).

Совпадения расчетных и фактических значений температуры позволяют использовать данную модель для оценки величины средней температуры подстилающей поверхности в отсутствие

океана: если нет испарения, то альbedo Земли уменьшится до 0,25, и при сохранении доли солнечного излучения, поглощаемой атмосферой, средняя температура подстилающей поверхности „сухой“ Земли будет равна $T_{\text{пш сух}} = 331 \text{ К}$.

Механизм уменьшения альbedo до 0,25 таков: альbedo сухих глин и песков приблизительно равно 0,3 [34, с. 206], т. е. если к подстилающей поверхности приходит $0,18e_0$, то глобальное альbedo должно быть равно $0,3 \cdot 0,18 = 0,05$. В рассматриваемом случае к поверхности приходит $0,8e_0$ [19, с. 56], т. е. глобальное альbedo поверхности увеличивается до $0,3 \cdot 0,8 = 0,24$. К этому значению добавляется $0,01e_0$ за счет отражения ультрафиолетового излучения от верхних слоев атмосферы.

Итак, при отсутствии океана глобальная приземная температура была бы равна 58°С . Именно благодаря океану она понижается до наблюдаемого значения 15°С .

Как отметил И. Ньютон [59, с. 645], „...моря безусловно необходимы для строения Земли, ибо из них, вследствие нагревания Солнцем, выделяются обильные пары...“ Этими словами великого естествоиспытателя можно закончить последнюю главу книги, так как они указывают на основную особенность Земли, отличающую ее от Венеры и Марса, — наличие океана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Теперь, по прочтении этой книги, читателю, по-видимому, стало понятна (и, хочется надеяться, близка) ее основная идея: вместо того, чтобы затрачивать гигантские средства на борьбу с мифической опасностью глобального потепления в результате антропогенного усиления парникового эффекта вследствие сжигания органического топлива, нужно направить усилия человечества на решение реальных проблем, в первую очередь на ликвидацию демографического кризиса и на борьбу с загрязнением окружающей среды.

Существует, кроме того, еще одна опасность для будущего биосферы, менее очевидная, но не менее грозная: уменьшение видового разнообразия биосферы. Как было упомянуто, Земля получает поток отрицательной энтропии, который в „естественных“ условиях (т. е. без неконтролируемого развития цивилизации) компенсировал неизбежный рост энтропии Земли вследствие действия второго закона термодинамики, и баланс энтропии был отрицательным, о чем свидетельствует история развития биосферы. Однако уменьшение видового разнообразия биосферы (вследствие истребления редких и крупных животных и растений, применения ядохимикатов, использования монокультур, гиперурбанизации и хирального загрязнения) ведет к усилению роста энтропии Земли, и баланс энтропии может стать положительным, что приведет к разрушению современного стационарного состояния биосферы даже при решении упомянутых выше двух первоочередных проблем. Поэтому Земля, ее климатическая система и биосфера, являющиеся результатом редкого сочетания благоприятных астрономических, физических и системных факторов, нуждаются в нашей защите. Нужно каждому помнить,

что именно Земля позволяет нам жить вопреки людоедскому принципу „бесплатный сыр бывает только в мышеловке“, давая нам бесплатно воздух, без которого не прожить и минуты, воду, без которой не прожить и дня. Да и все, включая саму жизнь, она дает нам совершенно бесплатно.

Помимо решения основной задачи книги — установления причин различия климатов Земли, Марса и Венеры и доказательства невозможности развития климата Земли как в сторону климата Марса, так и в сторону климата Венеры — теоретическим путем вычислены скорости вращения планет Солнечной системы относительно своих осей и найдена причина отклонения осей от перпендикуляров к плоскостям их орбит. Эти проблемы не были решены ни в одной из гипотез происхождения Солнечной системы — от Канта и Лапласа до Шмидта и Альвена. Кроме того, доказано, что знакомая каждому из нас с детства схема движения планет и Солнца нуждается в небольшой поправке: направление вращения Земли и других планет (за исключением, разумеется, Венеры и Урана) противоположно направлению вращения Солнца, совпадающему с направлением орбитального движения планет.

В книге показано, что изучение причин формирования климата Земли помогает изучению климатов других планет, а не наоборот, как это обычно декларируется.

Проблема невозможности прогнозирования природных процессов с помощью дифференциальных уравнений, поставленная 100 лет назад Н. В. Бугаевым и затронутая в этой книге, постепенно осознается естествоиспытателями, которые поняли, что, говоря словами С. Лема [83], „мир — это совокупность случайных катастроф, каждая из которых подчиняется точным законам“, т. е. каждое событие можно описать исходя из законов физики, но цепь этих событий расчету не поддается.

По-видимому, нужно более осторожно использовать математические модели при решении проблем глобального климата, поскольку, как показано выше, ход природных процессов нельзя прогнозировать с помощью дифференциальных уравнений не вследствие неустойчивости или бифуркации их решений, а из-за неаналитичности функций, описывающих эти процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешков М. Н., Жуков И. И. Физические основы ракетного оружия. — М.: Воениздат, 1965. — 464 с.
2. Альвен Х. Происхождение Солнечной системы // Вопросы космогонии. VI — Изд. АН СССР, 1958. — С. 78—97.
3. Бобров М. С. Сатурн, каким мы его знаем сейчас // Земля и Вселенная. — 1982. — № 4. — С. 39—44.
4. Богданов А. А. Тектология. Всеобщая организационная наука. Т. 1. — М.: Экономика, 1989. — 304 с.
5. Брагинский С. И. Теория магнитного поля Земли // Земля и Вселенная. — 1982. — № 6. — С. 40—44.
6. Будыко М. И. Климат и наше будущее // „Соц. индустрия“, 24.06.1988.
7. Будыко М. И. Климат и жизнь. — Л.: Гидрометеиздат, 1971. — 470 с.
8. Бэкон Ф. Сочинения. Т. 2. — М.: Мысль, 1978. — 482 с.
9. Бялко А. В. Наша планета — Земля. — М.: Наука, 1989. — 239 с.
10. Вангенгейм Г. Я. Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики. — М.-Л.: Изд. Главсевморпути, 1952. — 314 с.
11. Вейник А. И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи. — М.: Металлургиздат, 1956. — 448 с.
12. „Вечный“ двигатель на вечной мерзлоте // Юный техник. — 1990. — № 6. — С. 23.
13. Винников К. Я., Гройсман П. Я., Лугина П. М., Голубев А. А. Изменение средней температуры воздуха северного полушария за 1841—1955 гг. // Метеорология и гидрология. — 1987. — № 1.
14. Вительс Л. А. Характеристики барико-циркуляционного режима. — Л.: Гидрометеиздат, 1965. — 128 с.
15. Витязев А. В. Ранняя эволюция Земли // Земля и Вселенная. — 1990. — № 2. — С. 18—24.
16. Волькенштейн М. В. Биофизика. — М.: Наука, 1988. — 591 с.

17. Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной. — М.: Наука, 1980. — 672 с.
18. Воронцов-Вельяминов Б. А. Лаплас. — М.: Наука, 1985. — 286 с.
19. Гарвей Дж. Атмосфера и Океан. — М.: Прогресс, 1982. — 184 с.
20. Гельфер Я. М. История и методология термодинамики и статистической физики. — М.: Высшая школа, 1981. — 536 с.
21. Голин Г. М., Филонович С. Р. Классики физической науки. — М.: Высшая школа, 1989. — 576 с.
22. Гриббин Дж., Лэм Г. Г. Изменение климата за исторический период / Изменения климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — С. 102—121.
23. Дуэль И. Каждой гранью. — М.: Знание, 1981. — 192 с.
24. Ержанов Ж. С., Калыбаев А. А. Общая теория вращения Земли. — М.: Наука, 1984. — 254 с.
25. Ерохин В. Г., Маханько М. Г. Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники. — М.: Энергия, 1979. — 240 с.
26. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. — М.: Наука, 1983. — 415 с.
27. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. — М.: Наука, 1966. — 686 с.
28. Казанцев Ю. В. Теория атмосферных вихрей и ее применение для задач прогноза. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 117 с.
29. Казанцев Ю. В. Элементы термомеханики атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 111 с.
30. Казанцев Ю. В. Изменяется ли климат Земли? — СПб.: Гидрометеиздат, 1993. — 86 с.
31. Казанцев Ю. В. Проблемы аэродинамики атмосферы // Труды ДВНИГМИ, вып. 116. — 1989. — 174 с.
32. Казанцев Ю. В. Влияние вращения Земли на атмосферу и Океан. — СПб.: Гидрометеиздат, 1999. — 127 с.
33. Каннингхэм В. Введение в теорию нелинейных систем. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. — 456 с.
34. Климатология. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 567 с.
35. Климат планет. — Л.: Гидрометеиздат, 1981. — 96 с.
36. Кнойбюль Ф. К. Пособие для повторения физики. — М.: Энергоиздат, 1981. — 253 с.
37. Кондратьев К. Я., Селиванов А. С., Крупенко Н. Н. Планета Венера. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 278 с.
38. Кононович Э. В. Солнце — дневная звезда. — М.: Просвещение, 1982. — 112 с.

39. Коперник Н. О вращениях небесных сфер. — М.: Наука, 1981.
40. Космонавтика. Энциклопедия. — М.: Сов. энциклопедия, 1985. — 528 с.
41. Кочин Н. Е. Векторное исчисление и основы тензорного исчисления. — М.: Наука, 1965. — 426 с.
42. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. — М.: Наука, 1980. — 208 с.
43. Краткий справочник физико-химических величин. — Л.: Химия, 1967. — 182 с.
44. Ксанфомалити Л. В. Дальше — только звезды // Земля и Вселенная. — 1990. — № 3. — С. 41—53.
45. Кузьмин А. Д. Планета Венера. — М.: Наука, 1981. — 93 с.
46. Куликов К. А. Вращение Земли. — М.: Недра, 1985. — 159 с.
47. Ку-Нан Лиоу. Основы радиационных процессов в атмосфере. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 376 с.
48. Лаплас П. Опыт философии теории вероятностей. — М.: 1908.
49. Лейбниц Г. В. Сочинения в 4-х томах. Т. 1. — М.: Мысль, 1982. — 636 с.
50. Маркелова Л. П. Ключи к планетам. — М.: Знание, 1976. — 125 с.
51. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 751 с.
52. Михайлов А. А. Земля и ее вращение. — М.: Наука, 1984. — 79 с.
53. Михеенко В. Холод земных недр // „Соц. индустрия“, 15.06.1989. — № 138.
54. Мойсеев Н. Н. Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия, 1990. — 352 с.
55. Монин А. С. Введение в теорию климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 248 с.
56. Монин А. С. Солнечный цикл. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 68 с.
57. Неклюкова Н. П. Общее землеведение. — М.: Просвещение, 1976. — 336 с.
58. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. — М.: Мир, 1979. — 512 с.
59. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. — М.: Наука, 1989. — 688 с.
60. Полозова Л. Г. Цикличность в колебаниях климата // Человек и стихия, 1980. — С. 43.

61. „Природа“. — 1977. — № 7. — С. 139.
62. Пуанкаре А. О науке. — М.: Наука, 1983. — 560 с.
63. Рубинштейн Е. С., Полозова Л. Г. Современное изменение климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — 268 с.
64. Сагдеев Р. З., Мороз В. И. Планета Венера — открытия и загадки // Наука в СССР. — 1981. — № 1. — С. 16—30.
65. Сафронов В. С. О росте планет земной группы // Вопросы космологии. VI. — Изд. АН СССР, 1958. — С. 64—77.
66. Сибрук В. Роберт Вуд. — М.: Наука, 1985. — 319 с.
67. Смирнов Г. Страшные и нестрашные катастрофы Рене Тома // Техника—молодежи. — 1978. — № 12. — С. 18—21.
68. Справочник по геофизике. — М.: Наука, 1965. — 571 с.
69. Степанов В. Н. Мировой океан. — М.: Знание, 1974. — 254 с.
70. Теория тепломассообмена. — М.: Высшая школа, 1979. — 495 с.
71. Уайт Р. М. Большой климатический спор // В мире науки. — 1990. — № 9.
72. Фридман А. Н., Поляченко В. Л. О направлениях закручивания в спиральных галактиках // Астрономический журнал, 1972. — Т. 49, вып. 2.
73. Халтинер Дж., Мартин Ф. Динамическая и физическая метеорология. — М.: Изд. ин. лит., 1990. — 435 с.
74. „Химия и жизнь“, 1980. — № 3. — С. 25.
75. Хромов С. П. Метеорология и климатология для географических факультетов. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 455 с.
76. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. — М.: Мир, 1982. — 352 с.
77. Что же творится с погодой? // Техника—молодежи, 1971. — № 2. — С. 11.
78. Шафрановский И. И. Симметрия в природе. — Л.: Недра, 1985. — 168 с.
79. Шмидт О. Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. — М.: Изд. АН СССР, 1949. — 70 с.
80. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. — М.: Наука, 1971. — 939 с.
81. Greiner M. H. Westward drift motions of the Earth's core and the Earth's rotation // Gerlands Beitr. Geophys., 1986, 95, #4. — S. 341—351.
82. Kerr R. Greenhouse skeptic out in the cold // Science. — 1989. — 246, #4934. — P. 1118—1119.
83. Lem S. Biblioteka XXI wieku. — Krakow, 1986.
84. "Nature". — 1989. — Vol. 338, #6215. — P. 487.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие научного редактора	3
От автора	4
Введение	5
Глава 1. Характерные особенности климатической системы Земли	11
1.1. Постоянство равновесной глобальной температуры на уровне океана	13
1.1.1. Значение проблемы изменчивости приземной температуры	13
1.1.2. Равновесное значение глобальной температуры на уровне океана	15
1.1.3. Согласование гипотезы о постоянстве глобальной температуры на уровне океана с фактическими данными	20
1.2. Отсутствие парникового эффекта в атмосфере Земли	23
1.2.1. Основы теории парникового эффекта несостоятельны.	23
1.2.2. Решение классической задачи определения распределения температуры в фотосферах звезд неприменимо для атмосферы Земли	27
1.2.3. Тепловой баланс Земли можно составить без использования понятия парникового эффекта	34
1.3. Свойства климатической системы Земли, не учитываемые в теоретической гидрометеорологии.	39
1.3.1. Неполнота и некорректность математических моделей атмосферы и океана	39

1.3.2.	Термодинамическая система атмосфера+океан как квазибиологический объект	42
1.3.3.	О некорректности методологических основ применения дифференциальных уравнений для прогнозирования гидрометеорологических процессов	47
Глава 2.	Первая причина различия климатов — разные скорости вращения планет вокруг своих осей	50
2.1.	Кинематическая величина скорости вращения	56
2.2.	„Ударный“ способ формирования планет	59
2.3.	„Потенциальный“ путь формирования планет	70
Глава 3.	Вторая причина различия климатов — разные пути эволюции атмосфер и гидросфер	84
3.1.	Особенности атмосферы Венеры	84
3.1.1.	Возникновение теплового режима Венеры	84
3.1.2.	Термодинамический цикл водяного пара на Венере	87
3.1.3.	Механизм возникновения движения облачного слоя Венеры	91
3.2.	Следы атмосферы и гидросферы Марса	95
3.2.1.	Первичный климат Марса	96
3.2.2.	Процесс потери Марсом атмосферы и гидросферы	99
3.2.3.	О возможности заселения Марса	103
3.3.	Климат Земли как результат действия астрономических и физических факторов	106
3.3.1.	Влияние астрономических факторов на формирование климата Земли	106
3.3.2.	Физические основы стабильности климата Земли	110
3.3.3.	Приземная температура при наличии и в отсутствие океана	113
Закключение		119
Список литературы		121