

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ПРОБЕЖЕНО
1951 г.

ПРОБЕЖЕНО
1950 г.

Т Р У Д Ы
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 19(81)

*ЮБИЛЕЙНЫЙ ВЫПУСК, ПОСВЯЩЕННЫЙ
СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ ОСНОВАНИЯ
ОБСЕРВАТОРИИ*

77358

БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1950

ДИНАМИКА КЛИМАТА В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1. В настоящее время климатология стала узловой дисциплиной, в которой тесно увязываются достижения, а в значительной мере и интересы дальнейшего развития ряда других дисциплин, как близко стоящих к ней — метеорологии, синоптики, агрометеорологии, почвоведения, гидрологии, всего географического комплекса наук, так и далеких — астрономии с астрофизикой, геологии с ее комплексом наук, ботаники с историей флор, истории, археологии, медицины. Последнее колебание климата, свидетелями которого мы являемся, заставляет пересмотреть основные положения нашей науки, заставляет использовать достижения соседних дисциплин и поставить им ряд задач, подлежащих быстрому решению.

Громадная и плодотворная работа, выполненная классической климатологией, накопила материал по статике климата, которую можно с уверенностью считать детально выясненной. К изучению же динамики климата мы только приступаем. Настоящая работа подводит итог проработок автора и является не окончательным освоением новой области, а только проспекторским рейдом в ней.

2. Геологические разрезы на любой территории дают неопровержимые доказательства огромных изменений климата, распознаваемых не только по изменениям животного и растительного мира, но также по изменениям типа почвообразовательного процесса. Эти изменения осуществляются в огромные интервалы времени, но идут не монотонно, а развиваются скачками, с ускорениями и торможениями, с возвратами к уже пройденным фазам. Крупные и мелкие колебания запутывают геологическую летопись и иногда делают ее неразборчивой на больших отрезках [1]. Эти свойства развития климата мы четко видим на истории последледниковых климатов Евразии и Америки. Полученное геологией в текущем веке могучее орудие исследования — пыльцевой анализ — показывает, буквально на любом разрезе, сложную игру улучшений и ухудшений климата [1, 10]. Рядами таких колебаний слагаются огромные контрасты изменений климата, причем и последние только в сумме дают направленный и постепенный ряд смен климата. Можно сделать обоснованное предположение о единстве причин, определяющих развитие погоды и развитие климата. Обратное предположение потребовало бы допущения специально на этот случай ряда сложных конструкций, наподобие птолемеевых эпидиалов. Мы вправе принять некоторую естественную иерархию, генетически связывающую явления разных рангов значимости: погодные процессы — погода сезона — цикл развития общей циркуляции земной атмосферы — климат нескольких десятилетий — колебание климата — группа колебаний климата, связанных единой направленностью, — изменение климата — группа изменений климата — геологическая эпоха изменений климата.

На опыте геологии последледниковой эпохи мы можем судить о скоростях, амплитудах и территориальном охвате изменений климата и групп колебаний климата, слагающих первые. Археология и история дают живое представление об отдельных колебаниях климата. Собственно климат в статическом понимании охватывает состояние или режим погоды за отрезок времени не более двух-трех столе-

тий — с XVIII века, т. е. за эпоху надежных инструментальных наблюдений погоды. Этот отрезок, в масштабе смены климата, мал, благодаря чему и была принята в классической климатологии рабочая гипотеза неизменности климата, давшая в применении к практике весьма ценные результаты, но со второй четверти текущего века уже тормозящая дальнейшее развитие климатологии.

3. Погода и климат — различные аспекты развития одного и того же процесса. С необходимыми оговорками можно говорить о погоде XIX века и о климате, скажем, прошлого года. Где кончается погода и начинается климат — вопрос, определяемый на каждый данный случай теми уточнениями или упрощениями, которые мы налагаем по требованиям практики.

Исчерпывающего и окончательного определения климата и его связи с погодой мы по сей день не имеем, и хотя никто не отрицает генетической близости климата к погоде, на практике, почти как правило, разгораживают эти понятия китайской стеной. Но нельзя представить себе изменения климата без первичных направленных изменений погоды. Поэтому, говоря о смене климата, мы неизбежно говорим об определенных систематических изменениях погоды. Обратное, если мы констатировали последовательные изменения погоды, мы установили тем самым направленное изменение климата.

Вопрос изучения развития климата может быть сведен к несравненно более изученному и более понятному вопросу об изменениях и развитии погодных процессов, т. е., точнее, к вопросу о развитии общей циркуляции земной атмосферы и входящих в нее частных циркуляций.

Однако в исследованиях развития климата этой точкой зрения по большей части пренебрегают и привычно ищут объяснение наблюдаемых фактов в катастрофах, специально изобретаемых для каждого изменения. Если даже считать возможными катастрофы в истории Земли и солнечной системы, то все же нельзя ожидать их появления столь часто, как это понадобится для истолкования разведанной до сих пор истории земных климатов.

4. Первая группа причин, заподозренных в воздействии на климат, связана с изменением притока тепла от Солнца к Земле. Действительно, и погода, и климат должны зависеть от баланса тепла в произвольно выбранной точке земной поверхности и в атмосфере над ней.

Наиболее изящная гипотеза этой группы создана Симпсоном [2] в начале тридцатых годов нашего века. Цель ее — объяснить историю четвертичных оледенений. Эта цель была, и до сих пор остается, стимулом многих, если не всех динамико-климатологических исследований. Действительно, ни одна теория смены климатов не может считаться завершенной, если она не может указать причины возникновения, развития и ликвидации последних великих оледенений.

Симпсон допустил возможность колебаний общей светимости Солнца, но не указал их причин. Усиление потока солнечной радиации должно повлечь в первую очередь изменение режима конденсации водяного пара в земной атмосфере, в результате усиления испарения воды с океанов и с суши при начальном повышении температуры. Конденсация повела бы к увеличению облачности и, в результате, к увеличению коэффициента отражения земной атмосферы (альбедо) и снижению притока тепла к нижним слоям атмосферы. Альбедо будет при дальнейшем усилении солнечной радиации сперва нарастать, а после некоторого критического значения радиации и при дальнейшем ее росте быстро упадет и достигнет величины меньшей, чем оно имело в начале процесса. В соединении с мощным притоком солнечной радиации это создаст в середине волны изменения солнечной светимости и на ее гребне период влажного и теплого климата, тогда как на крыльях волны (рис. 1) сложатся периоды оледенений.

Эта гипотеза, ценная своей попыткой сопоставления солнечной деятельности с ходом конденсационных процессов в земной атмосфере, не имела проверки в прогнозах погоды и осталась академической попыткой решить чисто климатологический вопрос, чем обусловлено возникновение, развитие и ликвидация четвертичных оледенений. В истории последних, занявшей около одного миллиона лет,

Было действительно четыре оледенения (по крайней мере в Западной Европе), соединенных попарно: Гюнц, Миндель и Рисс, Вюрм. Разделены они, вполне по Симпсону, сухими и теплыми межледниковыми эпохами: Гюнц — Миндель, Миндель — Рисс и Рисс — Вюрм. Средняя из них — самая сухая и наименее теплая; она вдвое длиннее каждой из двух крайних, примерно одинаковых. Основное возражение против этой гипотезы — невозможность допущения сколько-нибудь значительных колебаний светимости Солнца [2]. Кроме того, гипотеза требует единообразия в развитии ледниковых явлений по всей Земле. На деле же мы имеем значительные противоречия: оледенения на разных континентах не сходятся по путям и различались по интенсивностям. Основной заслугой Симпсона была первая попытка сопоставления конденсационных процессов земной атмосферы с изменениями солнечной деятельности. Второй его заслугой была мысль, не высказанная им, но отчетливо возникающая у читателей, — о тесной и неразрывной связи изменений климата с развитием погоды.

5. Симпсон не объяснил, почему оледенения отмечают Четвертичную эпоху и отсутствуют в непосредственно предшествующей Третичной и Меловой эпохи, отличавшиеся однообразным мягким климатом на огромных территориях. Наблюдательные данные говорят о закономерной смене оптимумов в климатах с однообразными условиями на огромных пространствах и климатических пессимумов с утрированными климатическими условиями в многочисленных мелких провинциях. Климатология не может отмахнуться от этих фактов, поскольку без понимания предистории нельзя ни понять современный этап развития климата, ни тем более правильно наметить и оценить его дальнейшие изменения.

С этой точки зрения небезупречна и математическая теория климата, опубликованная М. Миланковичем в начале двадцатых годов [3]. Причину развития климата он видит в закономерном изменении элементов земной орбиты — эксцентриситета, долготы перигелия и наклонности оси вращения планеты к плоскости орбиты. Эти три элемента действительно периодически изменяются в строго определенных пределах, но с неравными периодами. Поэтому их совокупное действие то направлено согласно в одну сторону, то взаимно ослабляется. В результате изменения долготы перигелия, протекающего с периодом в 21 000 лет, то северное, то южное полушарие Земли попеременно попадает в наиболее благоприятное климатическое положение. В благоприятном полушарии лето приходится на афелий, а зима на перигелий. Благодаря этому продолжительность теплого полугодия на несколько дней превосходит продолжительность холодного полугодия; температуры лета умеренны, как и температуры зимы, т. е. годовой контраст лето—зима снижен. В неблагоприятном полушарии создается прямо противоположное положение. Изменения эксцентриситета земной орбиты, идущие с периодом около 92 000 лет, то уменьшают, то увеличивают неравенство притока тепла в эпоху афелия и в эпоху перигелия. Изменения наклонности оси вращения планеты к плоскости орбиты с периодом около 40 000 лет определяют положение климатических поясов и средние условия их облечения.

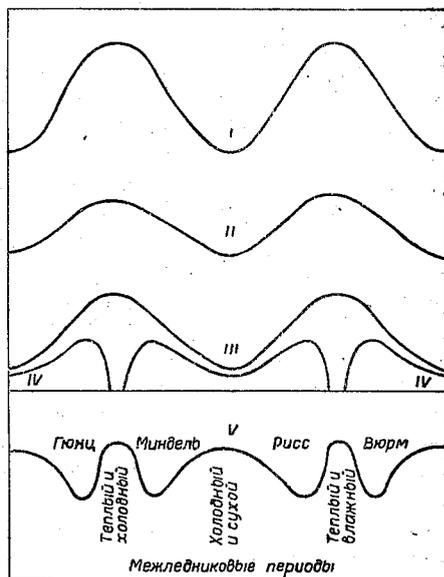


Рис. 1. Развитие метеорологических факторов при изменениях общей светимости Солнца (по Симпсону). Кривые сверху вниз передают ход светимости Солнца (I), температуры нижней тропосферы (II), сумм осадков (III), накопления снега в приполярных областях (IV) и последовательные приступы четвертичного оледенения (V).

Все эти положения спорны. Действительно, элементы орбиты изменяются, и их изменения влияют на климат Земли в целом, как и на местные климаты. Однако нельзя придавать изменению элементов решающее значение. Против теории Миланковича свидетельствуют непосредственные наблюдения: современное нам колебание климата, как и другие исторически прослеживаемые колебания, охватывают оба полушария одновременно и согласно; периоды этих колебаний малы и не зависят от астрономически длинных периодов изменения элементов. Кроме того, шкала климатической истории Земли, вычисленная самим Миланковичем на 600 тысяч лет назад от 1800 г., непоправимо расходится с геологической шкалой смены климатов, основанной на непосредственных подсчетах напластований ленточных глин и на данных пыльцевого анализа.

Не отрицая климатообразующего влияния изменений элементов орбиты, нельзя придавать им решающего значения еще и потому, что данная гипотеза не может объяснить образования и длительного бытования климатических оптимумов — Мела — Палеоцена и Девона — Карбона.

6. Ради объяснения истории климатов и заодно — истолкования истории флоры была предложена гипотеза Крейхгауера—Вегенера—Кеппена, по которой положение оси вращения не остается постоянным внутри геоида. Это создает предпосылки к смещению континентальных щитов по изостатическому слою по направлению к экватору. Континентальные глыбы при этом ломаются, и обломки получают автономное движение, со временем все более расходясь. По этой гипотезе до Карбона существовала единая континентальная глыба, обломки которой образовали современные континенты.

Эта гипотеза до настоящего времени пользуется признанием у ботаников [4] и палеоботаников, однако она встречает решающие возражения [5]. Особенно надо отметить, что перемещения оси вращения в настоящее время совершаются не направленно. Путь полюса вращения с 1890 по 1932 г. может быть вписан в квадрат со стороной в 11 м. Данные о скорости перемещения полюсов вращения вполне точны. Наблюдения ведутся на многих астрономических обсерваториях Международной службы широт.

Сколько можно судить, положение оси вращения изменяется под воздействием годового ритма твердых осадков и векового хода перераспределения масс внутри Земли. Даже учитывая обстановку ледниковых периодов с местными перегрузками ледниковых щитов, вряд ли можно принять допускаемое этой гипотезой изменение положения оси вращения. С Карбона до конца Третичной эпохи полюс прошел расстояние примерно от Панамского перешейка до южных берегов Аляски. Этот путь был проделан примерно за 260 миллионов лет. С конца же Третичной эпохи и по настоящее время, менее чем за полтора миллиона лет, Северный полюс будто бы переместился по сложной кривой от южных берегов Аляски до своего теперешнего положения и после этого получил современные ничтожные скорости. С механической точки зрения это просто абсурдно.

Столь же абсурдным представляется перемещение континентальных плит. Так, Австралия с конца меловой эпохи и по наши дни должна была бы проплыть от 8 до 13 тысяч километров. Примерно такие же рекорды поставил бы Индостан. В настоящее же время скорости относительных перемещений материковых щитов измеряются сантиметрами в столетие. Следовательно, и здесь должны были бы быть периоды катастрофических ускорений, освобождающие громадные силы, потребные для всех этих перемещений, и далее бесследно исчезающие. Хотя эта теория призвана объяснить развитие климата единой причиной или комплексом причин, фактически она требует принятия ряда катастроф, причины которых остаются совершенно не освещенными.

7. Для объяснения возникновения ледниковых периодов Нельке допускал появление темного космического облака с неравномерной плотностью, через которое солнечная система проходила во время Ледниковой эпохи. Пылевые частицы облака экранировали солнечный свет, и благодаря этому Земля получала недостаточное количество тепла и света.

Для того чтобы экранировать свет Солнца, материя космического облака должна была бы иметь плотность примерно 10^{-19} г/см³; при такой плотности продвижение солнечной системы вызвало бы нарушение планетных движений, следы которых, несомненно, сохранились бы до наших дней. Однако этих следов мы не находим. Далее, космическое облако при неоднородных плотностях не могло бы быть устойчивым. Следовательно, гипотетическое облако, обусловившее климатическую катастрофу, само должно было бы испытать незадолго до встречи с солнечной системой какую-то катастрофу.

Относительная скорость Солнца в местной системе звезд имеет порядок примерно 20 км/сек. Следовательно, за 10 тысяч лет, прошедших со времени последнего оледенения, мы не могли бы потерять из виду громадную и беспорядочную туманность, через которую мы по этой гипотезе прошли. Подобных космических соседей современная астрономия не знает. С другой стороны, невыясненным остается экранирующее действие облака. Все эти тела и тельца облучались бы Солнцем и переизлучали его радиацию в инфракрасном спектре. Возможно, что суммарное действие этих мелких излучателей не только компенсировало бы экранированную радиацию Солнца, но даже усилило бы приток тепла к планетам. Все эти неясности и недоговоренности теории Нельке, в частности — невысказанное явно требование наличия ряда катастроф, заставляют отказаться от этой теории.

8. Если не привлекать специально изобретенных катастроф, частота которых в космосе ничтожно мала, то объяснение истории климата должно опираться на постоянно и закономерно действующие причины, всегда присутствующие в системе Земля—Солнце. В этой системе катастрофы, конечно, возможны, но это могут быть только локальные и редкие явления. Кроме того, в истории климата отмечается известная ритмичность: Четвертичное оледенение имеет аналоги в виде Карбон-Пермского и Кембрийского оледенений, следы которых сохранила геологическая летопись. Далее, Мел-Палеогеновый оптимум имеет точный аналог в Девон-Карбонном оптимуме. Эпохи оледенения оставили нам следы громадных континентальных ледниковых щитов и ископаемые флоры, жестко расчлененные по мелким физико-географическим провинциям. Климатические оптимумы оставили свидетельства ровного и мягкого климата от экватора и до 70-х градусов широты с единообразными флорами, занимавшими все это пространство в обоих полушариях. При оледенениях пустынные явления широко развиты. При климатических оптимумах мы встречаем только следы ксерофитных областей.

Кроме ледниковых периодов и климатических оптимумов, имеются еще своеобразные климаты Триаса и далее Верхнего Кембрия с Ордовицием. В эти эпохи распространены сухие и теплые климаты наряду с предельно развитыми пустынями. Разнородные на первый взгляд климаты развиваются закономерно, но не монотонно. В них постоянно присутствуют флюктуации, создающие в истории климата подпериоды, дающие быстрые и контрастные колебания климата. Так, послеледниковая эпоха дала на протяжении десяти тысячелетий четыре крупных изменения климата и несчетное количество мелких колебаний, засвидетельствованных пыльцевым анализом и напластованиями ленточных глин.

9. Причины, определившие развитие климата в прошлые эпохи, должны действовать и в наши дни. Изменения климата свидетельствуют об изменении энергетического баланса всех без исключения территорий земного шара. Единственная действующая в наши дни группа причин, определяющих изменения энергетического баланса, не считая ритмичных монотонно изменяющихся и легко учитываемых вариаций элементов земной орбиты, кроется в общей циркуляции земной атмосферы. Основной причиной изменений климата Земли мы считаем изменения общей циркуляции земной атмосферы. Следовательно, должна существовать постоянно действующая причина развития общей циркуляции земной атмосферы, причем она должна действовать с непрерывными флюктуациями, подчеркиваемыми, а иногда заглушающими ее вековое развитие. Единственный отвечающий этим требованиям процесс, который мы знаем в настоящее время, — это изменение солнечной активности.

10. Если это предположение обосновано, мы должны иметь доказательства в повседневных изменениях процессов общей циркуляции, а на больших отрезках времени — в процессах климатических. Отрезок времени, освещенный инструментальными наблюдениями, мал. Поэтому неизбежно нам приходится привлекать к рассмотрению исторические, археологические и геологические данные.

Последнее колебание климата совершается на наших глазах [10, 11]. Оно не зашло еще далеко. Предшествующее колебание климата отмечено с VIII по XV век. Его начало, благодаря культурной разрухе средневековья, не было фиксировано в исторических документах эпохи.

С VIII века мы имеем неопровержимые доказательства мягкости климата Европы и Северной Атлантики. Исландия и Гренландия были свободны от ледяной блокады, Гренландия оправдывала свое имя, полученное в те времена (зеленая страна). Ньюфаундлендская отмель и Девисов пролив были свободны от айсбергов, и острова южной оконечности Гренландии, припаянные теперь льдами к ее массиву, омывались в то время открытым морем. Особенно важно, что ледяной щит Гренландии с VIII по XI век был в регрессии и, отступая, открыл широкие побережья, на которых была возможна земледельческая скотоводческая культура [13].

С XII по XV век нашей эры отмечено резкое и быстрое ухудшение климата: возобновление ледяной блокады Гренландии и Исландии, наступание Гренландского ледяного щита, появление айсбергов в Северной Атлантике. Ухудшение климата не было только местным, но охватило всю Евразию, проявляясь в развитии суровых зим и в учащении засух. В Северной Скандинавии оно обусловило прекращение земледельческой культуры, вновь освоившей эти земли только в конце XVI — начале XVII веков. В Средней Азии ухудшение климата дало [6] усиление пустынных явлений и сокращение площади поливных земель. Равным образом усиление пустынных явлений отмечено и в южном полушарии. Так, на территории Перу сильно сократились из-за недостатка воды площади поливного земледелия, сократились и площади лесов.

Б. П. Мультиановский [7] признает невозможным объяснить эту главу истории климата, оставаясь в круге представлений синоптической метеорологии.

11. Археологические данные показывают, что в конце Бронзового века, с XVIII по XV столетие до нашей эры, имело место столь же резкое и глубокое ухудшение климата. Как и более поздний по времени пессимум, отмеченный в наших хрониках, оно сопровождалось в Северной Европе суровыми зимами, ураганами и бурями; в приатлантических морях разражались свирепые бури, изменявшие очертания берегов.

В схеме развития этих частных оптимумов и пессимумов климата явственно проявляются перераспределения неизменного притока солнечной энергии. Все данные наблюдений говорят о том, что солнечная постоянная является действительно постоянной. Общая светимость Солнца, несомненно, имеет возрастные изменения, медленные по нашим масштабам времени. Помимо них, можно допустить лишь плавные колебания светимости с большими периодами и с малыми амплитудами. Солнце есть нормальная карликовая звезда спектрального класса G. Стать переменной звездой оно может только под реальной угрозой тяжелой катастрофы.

12. То колебание климата, свидетелями которого мы являемся, характерно прежде всего тем, что никаких изменений светимости Солнца, — тем более систематических, — мы не обнаруживаем. Затем, потепление полярных зон коснулось одновременно и северного и южного полушарий Земли; особенно повышаются температуры холодного полугодия. Процесс потепления идет быстро и, повидимому, с самоиндукцией. В то же время он развивается с постоянными колебаниями, с возвратами к пройденным уже фазам и все же развивается далее и далее. Надо особо отметить, что годовые температуры Земли не изменились, хотя в отдельных циркуляционных провинциях наблюдаются резкие изменения и предстоят, сколько можно судить, еще большие.

В экваториально-тропической зоне средние температуры испытали снижение порядка $1-2^{\circ}$, а температуры Арктики возросли на несколько градусов [8].

Наблюденным фактам можно дать только одно истолкование: современное колебание климата, а следовательно, с большой уверенностью, и все вообще колебания климата, как и слагаемые ими изменения климата, обусловлены изменениями распределения практически неизменного притока солнечной радиации. Иными словами, — все колебания и изменения климата определяются изменениями общей циркуляции земной атмосферы.

Тем самым задача упрощается: изменения общей циркуляции совершаются под воздействием изменений солнечной активности, как мы знаем по опыту. Те реакции общей циркуляции на изменения солнечной активности, которые мы подметили до сих пор, неизбежно должны входить как слагаемые в еще неизвестный нам механизм, осуществляющий развитие общей циркуляции. На усиление солнечной активности ответом служат: 1) усиление общей циркуляции; 2) рост меридиональных барических градиентов и уменьшение термических градиентов между экватором и полюсами; 3) смещение притропических максимумов давления к соответствующему полюсу и расширение экваториально-тропической зоны; 4) усиление активности притропических максимумов давления и полярных зон с последующим совместным наступанием их на соответствующие зоны умеренных широт; 5) увеличение площади экваториально-тропической циркуляционной зоны; 6) уменьшение площади зон умеренно-широтных циркуляций при возрастающей зависимости их циркуляции от циркуляций активных соседей.

13. В основном общая циркуляция слагается двумя переносами — западно-восточным и меридиональным (к которому мы относим и восточный тип циркуляции Г. Я. Вангенгейма). Первый обусловлен вращением планеты, второй — меридиональными барическими градиентами. Напряженность и ритм обоих основных переносов зависят от состояния перераспределения энергии в атмо- и гидросфере.

В настоящее время эти переносы антагонистичны: если при данном напряжении общей циркуляции усиливается один из них, то другой относительно ослабевает. Таким образом, усиление или ослабление общей циркуляции осуществляется сложным двойственным механизмом, что и повело к нерешенным до сих пор спорам, — что именно считать признаком усиления: оживление ли западно-восточного переноса или усиление меридионального. Нам представляется, что спор идет здесь только о словах, а не о существе явления.

Обсуждая вопрос об усилениях и ослаблениях общей циркуляции, надо учитывать состояние ее упорядоченности. Чем сложнее данный процесс, тем более важна его упорядоченность. Чем последняя больше, тем быстрее и тем эффективнее идет процесс.

Под упорядоченностью общей циркуляции мы понимаем большую или меньшую правильность в пространственном и во временном распределении одноименных метеорологических процессов.

От упорядоченности общей циркуляции зависит скорость обмена воздушных масс и, следовательно, эффективность перераспределения энергии. Должно различать скорость движения барических систем и скорость переноса воздушных масс. Часто, при малых скоростях переноса барических тел, мы наблюдаем большие скорости переноса воздушных масс. Иногда же, при большой скорости движения барических систем, мы констатируем малые скорости переноса воздушных масс.

Факторами, нарушающими упорядоченность общей циркуляции; являются: 1) устройство земной поверхности, 2) межзональный обмен и 3) местные циркуляции. Фактором, создающим упорядоченность, является солнечная активность. Так, мы имеем значительно упорядоченные циркуляции в цикле 1933—1944 гг., наиболее упорядоченном из прошлых циклов солнечной деятельности.

Самым упорядоченным звеном современной общей циркуляции земной атмосферы является пассатная циркуляция. Здесь разрешен антагонизм основных слагающих: пассатная циркуляция дает синтез западно-восточного и меридионального переносов при неоспоримом преобладании последнего. При этом надо особо подчеркнуть, что в течение 11-летнего цикла с усилением солнечной активности возрастает

и скорость пассатов (до 10⁰/₀ от скорости в эпоху минимума), и площадь пассатной циркуляции.

Неоспоримый факт влияния солнечной активности на метеорологические процессы мы объясняем вмешательством активной ультрафиолетовой радиации Солнца в ход конденсационных процессов земной атмосферы. В результате изменения количества или увеличения активности ядер конденсации, вызываемого каждым импульсом солнечной активности, наступает вынужденное разрешение всех зрелых влажнонеустойчивых состояний. Под зрелыми мы понимаем влажно-неустойчивые состояния с относительной влажностью выше 80⁰/₀. Форсированное разрешение последних идет в ритме развития солнечной активности и всякий раз совершается практически одновременно по всему глобусу. Этот ритм налагается на развитие макрометеорологического процесса и определяет его.

Влажнонеустойчивые равновесия, в отсутствие солнечной активности, разрешаются не в ритме, беспорядочно. С усилением солнечной активности число разрешений влажнонеустойчивостей, совершающихся независимо от Солнца, быстро падает. Подавляющее большинство конденсационных процессов, определяющих ритм и размещение макрометеорологического процесса, подчиняется ритму импульсов, и общая циркуляция, упорядочиваясь, становится быстрее [11]. С ослаблением солнечной активности конденсационные процессы становятся менее упорядоченными, поскольку разрешение влажнонеустойчивостей идет более стихийно. Значительная доля энергии всех циркуляций растрачивается при ослаблении солнечной активности непроизводительно, и общая циркуляция замедляется.

Усиления общей циркуляции формируются одновременным усилением каждого из обоих основных переносов. Однако в настоящее время один из них при этом усиливается больше другого. Чаще всего относительно усиливается меридиональный перенос; исключения приходится лишь на случаи секторного деления общей циркуляции динамико-муссонными процессами на атлантический и тихоокеанский секторы.

С ослаблением общей циркуляции одновременно ослабевают оба основных переноса, но меридиональный ослабевает относительно сильнее. В этом случае относительно преобладание получает западно-восточный перенос.

С ослаблением общей циркуляции значительное развитие получают квазистационарные процессы, например в 1898—1902 гг. При усилении общей циркуляции процент квазистационарных процессов снижается, и подавляющее преобладание получают адвективные процессы. Так, в эпоху 1936—1939 гг. квазистационарные системы наблюдаются лишь единично.

При упорядочении циркуляции вынос тепла из экваториально-тропической зоны и из обеих зон притропических максимумов усиливается. Именно в силу этого температуры экваториально-тропической зоны снижаются с усилением общей циркуляции и растут с ее ослаблением.

14. В общую циркуляцию входят как слагающие и все местные циркуляции. Важнейшими из них являются циркуляции океанов. Они обуславливают перенос в океанских течениях громадных запасов тепла, действие которых с известным последствием налагается на развитие общей циркуляции.

Повидимому, именно влияние океанских циркуляций обуславливает в основном инерцию общей циркуляции. Для северного полушария совместное действие атлантической и тихоокеанской циркуляций, благодаря то синхронным, то асинхронным усилениям и ослаблениям их, создает известного рода биения, плохо еще изученные.

Важным звеном общей циркуляции являются муссонные циркуляции. Под последними мы подразумеваем всякую местную циркуляцию, создающуюся благодаря различиям термического режима соседних физико-географических провинций. Выравнивание термического режима всех вообще провинций при усилениях общей циркуляции угнетает муссонную циркуляцию. Наоборот, ослабление общей циркуляции благоприятствует развитию муссонной. Однако с усилением общей циркуляции и особенно при усилениях меридиональной циркуляции образуются иногда области устойчивых барических максимумов или депрессий, полностью имитирующих муссонные явления. Всякий поток воздуха создает вправо от себя область

нагнетания, а влево — область разрежения. В случае устойчиво локализованной и достаточно интенсивной циркуляции области динамических максимумов и депрессий становятся важными местными звеньями циркуляции, и пока сохраняется направленность и территориальная устойчивость процесса, их развитие идет с некоторой самоиндукцией. Подобные процессы должно выделить в самостоятельную группу динамико-муссонных явлений.

Сходство этих динамических образований с муссонными делает различие между ними и чисто муссонными явлениями достаточно трудным. Различие четко выступает, если проследить историю таких образований. Собственно муссонные явления следуют полугодовому ритму жизни атмосферы, обуславливая образование зимних и летних муссонов. Динамико-муссонные явления полугодовому ритму не следуют. С некоторыми территориальными смещениями их существование захватывает свыше одного полугодия. Так, например, зимний динамический Сибирский антициклон продолжает существовать в виде летнего динамического Казахстанского антициклона. Динамико-муссонный Американский зимний антициклон существует и летом в виде Американо-Канадского летнего антициклона.

15. Основные деления общей циркуляции создаются зональными границами. Последние не следуют географическим параллелям, а отклоняются от них под влиянием устройства подстилающей поверхности, времени года и напряженности общей циркуляции. При взаимодействии двух соседних местных циркуляций одна из них остается принципиально неизменной, другая же перестраивается под воздействием первой. Мы называем это явление активной и пассивной циркуляцией.

Основными зонами общей циркуляции земной атмосферы являются: экваториально-тропическая, две зоны притропического максимума давления, две зоны умеренных широт и две полярных зоны.

Основной активной циркуляционной зоной является экваториально-тропическая, обладающая наибольшей площадью и наибольшими энергетическими ресурсами. Она непосредственно определяет режим зон притропических максимумов и полярных зон, которые она снабжает воздухом. Последние две зоны являются равно активными по отношению к зоне умеренных широт, циркуляцию которой они совместно определяют.

С усилением общей циркуляции границы основных зон сдвигаются; границы экваториально-тропической зоны и областей притропических максимумов отодвигаются к полюсам, а границы полярных зон сдвигаются в сторону низких широт. Таким образом зоны умеренных широт атакуются соседними, активными по отношению к ней зонами.

Усиление общей циркуляции слагается усилениями всех вообще переносов. Благодаря этому сглаживаются климатические контрасты: температуры экваториально-тропической зоны и притропических максимумов несколько падают, температуры полярных зон значительно возрастают, а температуры зоны умеренных широт, занимающей в обмене энергии пассивное положение, медленно поднимаются. В сумме средняя температура Земли остается неизменной.

С ослаблением общей циркуляции, слагающимся из ослаблений подавляющего большинства всех переносов воздушных масс, площадь зоны умеренных широт возрастает, а площади всех остальных основных зон уменьшаются; притропические максимумы приближаются к экватору, уменьшается межзональный обмен и обостряются климатические контрасты.

При западно-восточном переносе границы циркуляционных зон намечаются резко, и межзональный обмен значительно затруднен. Меридиональный перенос усиливает межзональный обмен и, уменьшая различия режима, делает границы зон менее четкими. Смещения зональных границ и бытование их в определенном состоянии зависят в основном, сколько можно судить, от развития меридионального переноса.

16. Изменения общей циркуляции, обуславливающие тип и напряженность перераспределения неизменного по величине притока энергии, определяют развитие

климата. Развитие климата на протяжении геологической истории говорит о непрерывном развитии общей циркуляции, не испытывавшей общепланетных катастроф. Нельзя указать иную причину этого длительного и направленного развития, кроме только возрастного развития солнечной активности. Гелиофизика отмечает вековое усиление активности на протяжении XIX и XX веков, отражающееся в развитии современного нам колебания климата и определяющее его. Другой причины наблюдаемого процесса развития климата мы не знаем. Действие этой причинной связи мы можем распространить на все развитие климата.

Анализируя условия эпох климатических оптимумов, мы видим поразительное однообразие климата от экватора до семидесятых — восьмидесятых градусов северной и южной широты одновременно. Мы прослеживаем это однообразие условий по распространению ископаемых флор. Оба оптимума — Девон-Карбоновый и Мел-Палеоценовый — дают тождественную картину. Значительное однообразие флор во всех местонахождениях, при полной невозможности подразделения их на флористические провинции [5]. Одни и те же виды и роды растений находят в отложениях Гренландии, Шпицбергена, Медвежьих островов, Канадского архипелага, Канады и США, Западной Европы, всего СССР, Австралии, Антарктиды, Южной Америки, Африки. В связи с отсутствием специализированных форм, приспособленных к узко ограниченному обитанию, это говорит о значительном единообразии условий. В то же время преобладание древовидных форм во флорах оптимумов, — что характерно для тропических флор современности, — говорит о значительно более высоких средних температурах перечисленных высокоширотных областей, чем это наблюдается ныне.

В то же время, несомненно, существовали ксеротермичные области, где закладывались ксерофитные флоры лесостепи, получившие в дальнейшем развитие с ухудшением климата. Все же, — это надо подчеркнуть, — во время климатических оптимумов не существовало ни настоящих пустынь, ни пустынных степей.

Оптимумы обусловили быстрое развитие растений. В Девоне водные растения освоили сушу, дав начало наземной флоре. В Меловую эпоху покрытосеменные растения, сложившиеся в Юрскую эпоху, быстро развиваясь, захватили Землю.

17. Если связь климата с погодой, а следовательно и с общей циркуляцией земной атмосферы имела место и в прошлом, то климатические оптимумы отвечают некоторому определенному и весьма устойчивому во времени состоянию общей циркуляции. На основании современных нам соотношений можно сказать, что распределение климатических зон в то время было иным и что границы зон были нечетки, как бы полустерты. Экваториально-тропическая зона и притропические максимумы в пределах $\pm 65^\circ$ широты были заняты вечнозеленой растительностью. От этих границ шли области, где слагалась листопадная флора со значительной примесью вечнозеленых. Всего существовало пять циркуляционных зон: экваториально-тропическая, тесно связанная с окаймляющими ее притропическими максимумами, и две полярных. Междузональный обмен совершался несравненно легче, чем это имеет место теперь. Зоны умеренных широт в эти эпохи отсутствовали.

Общая циркуляция эпох климатических оптимумов должна была развиваться при неоспоримом преобладании меридионального переноса и при большой упорядоченности. Этим объясняется режим циркуляционных зон, сближение их погодных характеристик, отсутствие пустынь, появление теплолюбивых широколиственных лесов в высоких широтах, отсутствие флористических провинций.

Общая циркуляция построена в эти эпохи так, что обеспечивает быстрое и стойкое перераспределение тепла, получаемого низкими широтами. Это свидетельствует также о том, что роль местных циркуляций в это время сведена к нулю.

Длительность каждого оптимума примерно оценивается в 40 миллионов лет. Следовательно, устойчивость циркуляции была обеспечена непрерывно действующей и очень мощной причиной. Поскольку наблюдаемое нами в настоящее время развитие общей циркуляции обусловлено ходом солнечной активности, не будет ошибкой заключить, что солнечная деятельность дала в эти эпохи длительные и стойкие максимумы активности.

Многokратно высказывалось соображение, что повышение содержания углекислоты в атмосфере повело бы к улучшению климата типа рассмотренных Девон-Карбонового и Мел-Палеоценового оптимумов. Опираясь на ход почвообразовательного процесса и на тип выветривания, можно с большой уверенностью сказать, что первый из оптимумов действительно застал в атмосфере очень большие запасы углекислоты, которые лишь впоследствии были истощены каменноугольной флорой и фауной. Однако это условие не играло решающей роли: Мел-Палеоценовый климатический оптимум осуществился при очень близком к современному режиму углекислоты. С другой стороны, первый из известных нам климатических пессимумов — Кембрийский — развился при избыточном содержании углекислоты, больше чем даже при Девон-Карбоновом оптимуме.

18. С ростом температурного фона термические различия между отдельными областями циркуляции убывают, в частности между циклонами и антициклонами, составляющими отдельные барические системы. Тем не менее, циркуляция идет интенсивно, как показывает пример современных экваториально-тропических циркуляций. „Барические тела“ как служебные колесики осуществляют общую циркуляцию, но они же и тормозят ее. Современная пассатная циркуляция показывает, что при упорядоченном процессе и сниженном термическом контрасте циклоны и антициклоны не являются необходимыми звеньями осуществления обмена воздушных масс.

В предельном развитии меридиональный перенос должен дать жестко-устойчивое распределение меридиональных выносов, с учетом отклоняющей силы вращения Земли. Оно связано и обусловлено с гидрологическим состоянием океанов. Скорости течений зависят от скоростей переносов воздуха, но и скорости течений в большей или меньшей степени определяют скорости и устойчивость территориального размещения переносов воздуха. Это диалектическое единство становится определяющим моментом общей циркуляции после достижения некоторого уровня упорядоченности. До этого же уровня оба члена единства развиваются более или менее противоречиво. При установившейся циркуляции, как это имеет место в пассатах, надо говорить о согласной циркуляции атмо-гидросферы.

Усиление меридионального переноса стимулирует ускорение морских течений, уравнивающих термическое состояние атмо-гидросферы, и процесс идет с самоиндукцией и авторегуляцией, как мы это наблюдаем и в наши дни. Инерция процессов гидросферы перерастает в общую согласованную устойчивость атмо-гидросферной циркуляции. Именно поэтому высокие уровни солнечной активности дают устойчивую и упорядоченную циркуляцию, развивающуюся при сниженных термических градиентах экватор — полюс, свободную от случайных изменений, благодаря отсутствию непроизводительных затрат энергии на хаотические движения. Это геофизическая интерпретация начального определяющего момента упорядоченности солнечной деятельности. Низкие уровни активности дают циркуляцию неустойчивую и неупорядоченную. Низкие уровни солнечной активности конца XIX и начала XX века (с 1878 по 1913 г.) породили в климатологии и метеорологии увлечение средними величинами и неразборчивое применение статистического анализа, без учета физических закономерностей.

В эпоху климатических оптимумов упорядоченная циркуляция типа пассатной, сколько можно судить, захватывает огромные территории, отмеченные распространением теплолюбивой вечнозеленой флоры. В настоящее время пассаты отчасти маскируются муссонными циркуляциями континентов, но с усилением общей циркуляции муссонное влияние вряд ли может сохранить значение определяющего момента. Пассатная циркуляция в настоящее время наблюдается преимущественно над океанами, и там она переносит насыщенные влагой массы воздуха. Над континентами переносятся сухие массы воздуха, благодаря сильному развитию пустынь и полупустынь. В области собственно-экваториальной циркуляции, над тропическими лесами, пассаты насыщены влагой так же, как и над океанами. Поэтому, если принять, опираясь на распределение юрских флор, распространение еще до начала Меловой эпохи по всей тропической и субтропической областям гигрофильной

лесной растительности, то надо принять, что в эпоху климатического оптимума пассаты над континентами несут столь же влажный воздух, как и над океанами.

В настоящее время, в силу определяющего значения субтропических стационарных антициклонов, в области пассатов выпадение осадков приурочено главным образом к западным областям океанов. Восточные области океанов увлажняются в основном за счет туманов, как, например, область Макаронезии (архипелаги Атлантики).

При упорядочении циркуляции различия восточных и западных областей океанских пассатов сглаживаются, благодаря значительному ослаблению континентальных ксеротермичных областей. Все же меловые флоры показывают, что приспособление растений к сухому и теплему климату идет во многих областях земного шара.

Пассатная циркуляция, благодаря своей упорядоченности, интенсивно развивается при сниженных меридиональных барических градиентах, при которых циклональная и антициклональная циркуляция, подобная современной циркуляции умеренных широт, замерла бы, в силу растрат энергии на неупорядоченные движения.

Именно благодаря развитию циркуляции пассатного типа, при угнетении муссонных циркуляций, снижение термического градиента экватор — полюс, достигнутое в эпоху климатического оптимума, не парализовало общей циркуляции, поскольку меридиональные барические градиенты атмосферы неизменно поддерживаются на достаточно высоком уровне.

19. За каждым оптимумом климата следовало, с некоторыми колебаниями, постепенное и закономерное ухудшение климата, обусловившее появление флористических провинций и, в частности, пустынных степей и далее — пустынь. Два случая, доставляемые геологической летописью, дают картину, тождественную до деталей: карбоно-пермское и третичное ухудшения климата. Границы циркуляционных зон становятся все более четкими; область распространения упорядоченной пассатной циркуляции уменьшается, а зародившаяся область циркуляции умеренных широт все разрастается. Перераспределение энергии становится все менее совершенным, и к Плиоцену мы имеем четко наметившуюся полярную циркуляцию, циркуляцию умеренных широт, притропический максимум, экваториально-тропическую зону. Постепенное развитие климата в эту эпоху показывает все увеличивающуюся роль западно-восточного переноса и все меньшую упорядоченность общей циркуляции. Роль меридионального переноса все убывает, и в переходный период климатического пессимума оба переноса становятся равноправными. Общая циркуляция получает предельную неустойчивость, при которой ее развитие определяется случайными событиями местных циркуляций.

Переходность положения климатических пессимумов подчеркивается, с одной стороны, многократностью приступов оледенения каждой из этих эпох и, с другой стороны, краткостью общей длительности этих оледенений, обнимающих для каждого пессимума интервал порядка миллиона лет. Единственным объяснением этого с нашей точки зрения может служить только неустойчивость общей циркуляции в эти эпохи, обуславливающая появление и развитие устойчивых местных циркуляций, в начале приводящих к локальным ухудшениям климата. По мере развития процесса последние перерастают в событие общепланетного значения, определяющее общую циркуляцию. Надо отметить, что пассатные циркуляции в это время продолжают существовать в сокращенных границах, определяя относительную устойчивость климата экваториально-тропической зоны. Ухудшение климата в эпохи пессимума затрагивают зоны полярные и умеренных широт.

В областях положительного баланса твердых осадков с течением времени образовывались снежники, фирны, ледники. По мере усиления значения местных циркуляций, ледники сливались в покровные оледенения, которые далее определяли циркуляцию данной провинции. Современные останцы покровных оледенений — Антарктический и Гренландский щиты — особенно первый из них, обуславливают четко выраженную местную циркуляцию, сказывающуюся на развитии общей циркуляции.

В областях, не благоприятствующих накоплению твердых осадков, развилась вечная мерзлота. Уменьшение мощности покровных оледенений по направлению с запада к востоку указывает на значительное развитие западно-восточного переноса во время четвертичного оледенения. Уменьшение оледенений от запада к востоку наблюдается и в современную эпоху, в силу нарастания сухости климата, обусловленной преобладанием западно-восточного переноса.

Условия четвертичного оледенения, выясненные несравненно полнее, чем условия Карбоно-Пермского оледенения, раскрывают причину формирования пессимумов климата. Последние возникают только при крайней неупорядоченности общей циркуляции, когда западно-восточный и меридиональный переносы совершенно равноправны, и достаточно небольшого местного и часто случайного возмущения, чтобы перестроить общую циркуляцию внетропических зон.

Во время климатических пессимумов в оледенениях участвуют полярные зоны и умеренные широты, тогда как экваториально-тропическая зона и притропические максимумы проявляют лишь отдельные реакции на воздействия областей оледенения. Так, увлажнение в области северного притропического максимума было в эту эпоху настолько велико, что в Северной Африке, в современной Сахаре, продолжала развиваться мощная и разветвленная речная система, сложившаяся в эпоху оптимума. От бесчисленных рек и речек поныне сохранились сухие русла. Человек, обитавший в этих странах, оставил нам наскальные рисунки, передающие сцены охоты, объектами которой были животные, отступившие в настоящее время далеко к югу, под воздействием развившейся пустынности климата.

В непосредственной связи с покровными оледенениями развились области арктических полупустынь, что также свидетельствует о большой устойчивости циркуляции в местных системах и о снижении устойчивости общей циркуляции. Оледенения охватывали стык зон арктической и умеренных широт, тогда как высокая Арктика оставалась неоледеневшей. Упорядоченность общей циркуляции достигает в эти эпохи своего минимума, а меридиональные барические градиенты зависят от местных циркуляций.

20. С дальнейшим усилением западно-восточного переноса, под воздействием ослабевающей солнечной активности, границы зональных циркуляций становятся более и более резкими, закладываются настоящие пустыни, климат которых становится более суровым по мере развития западно-восточного переноса; возрастают меридиональные барические градиенты и усиливается циркуляция, осуществляемая сменами циклонов — антициклонов. Упорядоченность общей циркуляции, убывавшая по мере ослабления меридионального переноса, начинает увеличиваться по мере увеличения важности роли западно-восточного переноса. Это объясняет климатические условия эпохи Триаса. Геологическая хронология показывает, что длительность развития этого второго максимума устойчивости общей циркуляции обнимает интервал порядка 10—12 миллионов лет. Следовательно, второй максимум устойчивости обусловлен, как и первый, мощными и длительно действующими причинами.

Единство развития общей циркуляции, проявляющееся в наши дни, говорит за то, что возникновение и бытование второго максимума устойчивости обусловлены почти полным выключением влияния солнечной активности. Таким образом, от первого максимума устойчивости общей циркуляции — от климатического оптимума I рода — когда предельное развитие солнечной активности определяет предельное развитие меридионального переноса, и до второго максимума устойчивости, когда солнечная активность падает до нуля, формируя климатический оптимум II рода с полным преобладанием западно-восточного переноса, — солнечная активность проходит полволны своего развития, определяя полволны развития климата.

21. От второго максимума устойчивости общей циркуляции земной атмосферы, на восходящей ветви развития солнечной активности и климата, процессы текут убыстренно. Доля участия западно-восточного переноса постепенно падает, а участие меридионального переноса возрастает. На восходящей ветви кривой развития процесса вновь встречается эпоха равного влияния обоих основных переносов и, следовательно, предельной неустойчивости общей циркуляции. Однако пессимумов.

климата эти эпохи не формируют, благодаря быстрому темпу нарастания процесса. Период неустойчивости общей циркуляции имеет слишком малую длительность, мешающую закладке оледенений, в развитии которых фактор времени играет решающую роль.

Принципиальная перестройка общей циркуляции земной атмосферы в эпохи предельной неустойчивости ее ведет к изменению перераспределения воздушных и водных масс по глобусу. Эта перестройка сказывается не только в жизни атмосферы, но, повидимому, и в жизни магматического слоя. По крайней мере все эпохи горообразования приурочены к этим перестройкам и, в частности, к перестройкам на восходящей ветви развития общей циркуляции, когда покровные оледенения отсутствуют.

Мягкость климата быстро возрастает на восходящей ветви развития общей циркуляции. Пустынные явления деградируют, постепенно стираются границы флористических провинций, леса продвигаются все дальше к полюсам и, наконец, широколиственные леса захватывают полярную область. В малом масштабе подобные колебания климата мы видим на истории послеледниковых четвертичных флор. Конец последнего великого оледенения с большой уверенностью датируется за восемь тысячелетий до нашей эры. За время от конца последнего оледенения и до наших дней имели место два улучшения и два ухудшения климата. Эти колебания климата оставили неизгладимые следы, своего рода паспорта климата, в виде пыльцы растений, захороненной в отложениях этих эпох.

22. Резюмируя, можно сказать, что вся история развития климата, подтвержденная свидетельствами ископаемых наземных флор, т. е. со времен Девона и до наших дней, говорит о единстве причин, действующих на всем этом интервале времени, и о закономерности развития климата. Это развитие совершается не монотонно, а с непрерывными флюктуациями и возвратами к уже пройденным фазам; тем не менее, если отвлечься от флюктуаций, развитие климата показывает существование известной цикличности, которая также должна быть свойственна и причине, обуславливающей это развитие.

Те изменения, которые происходят на наших глазах, обусловлены развитием солнечной активности. С большой уверенностью мы экстраполируем эту зависимость как на прошлое развитие климата, так и на будущие его изменения. Максимум устойчивости I рода, совпадающий с климатическим оптимумом мел-палеоценового типа, обусловлен предельным развитием солнечной активности и, соответственно, предельным развитием меридионального переноса в атмосфере. В это время локальные циркуляции подавлены, и общая циркуляция определяется меридиональным переносом. Меридиональные термические и барические градиенты достигают в это время минимума, но общая упорядоченность циркуляции, развивающейся по типу пассатной, позволяет ей совершаться без помех. Собственные колебания земной атмосферы в это время совершенно подавлены и замещены устойчивым меридиональным переносом.

С ослаблением солнечной активности усиливается западно-восточный перенос, который вначале проявляется в виде слабых местных возмущений. С течением времени, когда участие обоих основных переносов становится равнозначным, наступает предельная неустойчивость общей циркуляции, обуславливающая на медленно развивающейся нисходящей ветви развития климата возникновение климатических пессимумов.

С дальнейшим ослаблением солнечной активности и усилением западно-восточного переноса общая циркуляция вновь стабилизируется и достигает второго максимума устойчивости, при абсолютном преобладании западно-восточного переноса. В это время развивается климатический оптимум II рода, в последний раз наблюдавшийся в Триасе. Общая циркуляция в это время совершенно упорядочена и развивается без участия солнечной активности. Стабилизирующим моментом являются собственные колебания земной атмосферы.

На восходящей ветви развития климата, по мере усиления солнечной активности и ослабления западно-восточного переноса, вновь появляются меридиональные

переносы, мощность которых растет со временем. И здесь наступает переломный момент, когда растущая неустойчивость общей циркуляции достигает максимума и далее начинает убывать с возрастанием роли меридионального переноса.

На нисходящей ветви развития климата подобный период неустойчивости общей циркуляции формирует климатический пессимум с широкими покровными оледенениями, в развитии которого решающую роль играет фактор времени. На восходящей ветви развития климата период неустойчивости не создает климатического пессимума ввиду быстроты нарастания процесса.

23. Таким образом, мы принимаем в развитии солнечной активности существование плавных колебаний огромного периода и относительно большой амплитуды. Свидетельством этого колебания служит история климата Земли, дающая хронологическую канву процессов. Пользуясь урановыми часами, можно оценить в миллионах лет длительность геологических эпох, которая сведена нами в табл. 1.

Таблица 1

Длительность геологических эпох в миллионах лет

Кембрий	74,7	Карбон	60,7	Юра	50,2	Палеоген	38,0
Ордовичий	44,6	Пермь	38,6	Мел	36,4	Неоген	31,7
Силур	34,3	Триас	34,4				
Девон	31,6						
	185,2		133,7		86,6		69,7

475,2

Хотя надежность этой шкалы времени не очень велика, однако порядок величин она передает достаточно точно. Пользуясь этой таблицей, мы построили второй график, где по оси абсцисс дана длительность геологических эпох, рассчитанная по урановым часам в миллионах лет, а по оси ординат — условная напряженность солнечной активности (рис. 2).

Масштаб ординат заведомо преуменьшен, как это показывает современное соотношение напряженностей солнечной активности в эпохи максимума и минимума 11-летних циклов. Правильное соотношение ординат должно было бы давать величины вдвое большие, чем это показано на графике. Верхняя прямая, ограничивающая график, дает вековое изменение светимости Солнца, выраженное в изменении его активности. По нашим подсчетам общая светимость Солнца от Карбона до Мела снизилась на 0,69%. Впрочем, эти подсчеты приблизительны.

Начиная с Девона и по наши дни кривая изменения солнечной активности, прослеживаемая по изменениям климата, обоснована палеоботаническими данными. От Девона назад к Протерозойской эре эта кривая нами экстраполирована. Поэтому нельзя ручаться за неизменность длины периода изменения солнечной активности и климата. Последняя волна от Девон-Карбонового оптимума до Мел-Палеоценового заняла примерно 220 миллионов лет.

Вертикальными пунктирами намечены эпохи неустойчивости общей циркуляции, сопровождавшиеся развитием покровных оледенений. Первое — Кембрийское — оставило следы по всему земному шару, а второе — Пермское — захватило в основном южное полушарие. Повидимому, это обусловлено распределением суши и моря. Четвертичное оледенение охватило равно оба полушария.

Периоды горообразования, связанные с перестройкой типа циркуляции, показаны внизу горизонтальными штрихами. Это — Каледонская, Герцинская, Киммерийская и Альпийская складчатости. Горообразование, отвечающее Кембрийскому оледенению, намечено условно.

24. Оценивая современное состояние развития климата и пользуясь вторым графиком, мы можем с большой уверенностью утверждать, что ледниковый период

является пройденным этапом климатической истории, и далее предстоит длительное развитие климата в сторону все возрастающей упорядоченности общей циркуляции, повышения роли западно-восточного переноса и постепенного формирования климатического оптимума II рода.

Однако процесс этот идет с непрерывными флюктуациями, одна из которых, переживаемая нами, обуславливает возвращение общей циркуляции к пройденной уже фазе, именно к относительно преувеличенному значению меридионального

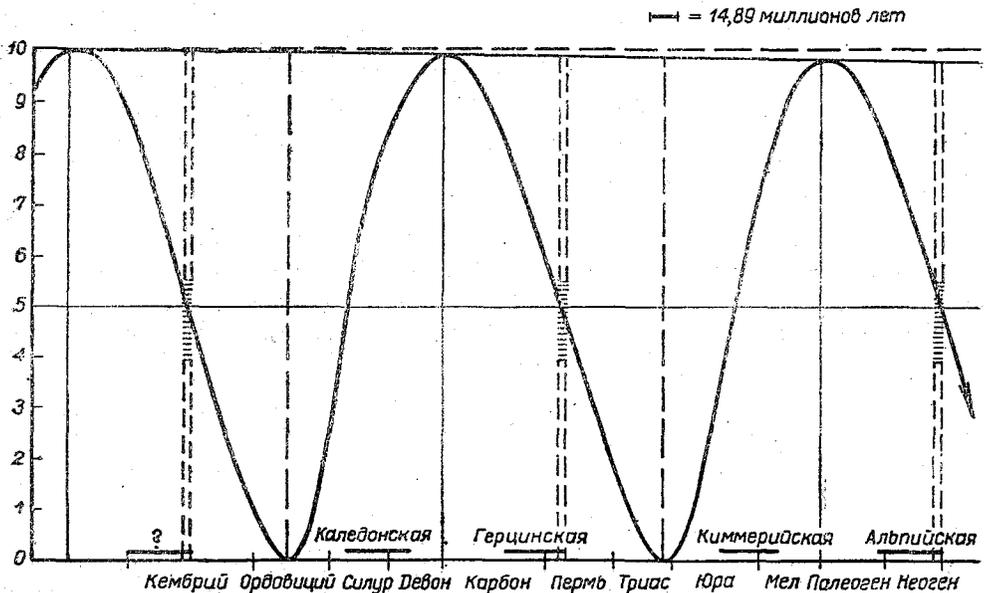


Рис. 2. Сглаженный ход солнечной активности по свидетельству геологической летописи. Кривая передает предполагаемый ход солнечной активности, выраженной в условных баллах.

переноса в хозяйстве общей циркуляции и к сглаживанию климатических контрастов циркуляционных зон. Интервал времени, отделяющий нас от середины предстоящего оптимума II рода, можно оценить в 58 миллионов лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов И. П. и Марков К. К., Ледниковый период на территории СССР, Труды Инст. географии АН СССР, вып. 30, 1939.
2. Предтеченский П. П., Климаты геологического прошлого и схема зависимости их от изменений солнечной активности, Труды ГГО, вып. 8 (70), 1948.
3. Миланкович М., Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата, СНИИ, 1939.
4. Вульф Е. В., Историческая география растений, АН СССР, 1944.
5. Берг Л. С., Некоторые соображения о теории передвижения материков, Известия ВГО, т. LXXIX, вып. 1, 1947.
6. Бартольд В. В., Туркестан в эпоху монгольского завоевания, 1912.
7. Мультиановский Б. П., Загадка Арктики, Метеорологический вестник, № 1, 1926.
8. Дзердзеевский Б. Л. и др., Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов, Труды НИУ ЦИП, серия II, вып. 21, Гидрометеониздат, 1946.
9. Рубинштейн Е. С., К проблеме изменения климата, Труды НИУ, серия 1, вып. 22, ГГО, Гидрометеониздат, 1946.
10. Гричук В. П. и Заклинская Е. Д., Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии, Огиз, Географгиз, 1948.
11. Основные положения метода долгосрочных предсказаний погоды, учитывающего солнечную активность, Труды Ташкентской геофизической обсерватории, вып. 1, 1940.
12. Simpson G. C., World climate during the quaternary period, Qu. J., vol. 60, 1934.
13. Pettersson O., Studien in der Geophysik und der kosmischen Physik, Ann. d. Hydr., 1914.