

**Физика и теория климата. Часть 1. Основные понятия.**  
**(компиляция учебных материалов)**  
**Climate Physics and Theory. Part 1. Basic concepts.**  
**(A compilation of training materials in Russian)**

**Содержание.** 1.1 Климатические изменения. 1.2. Географическое определение климата. 1.3. Климатическая система. 1.4. Статистическое определение климата. 1.5. Используемые источники.

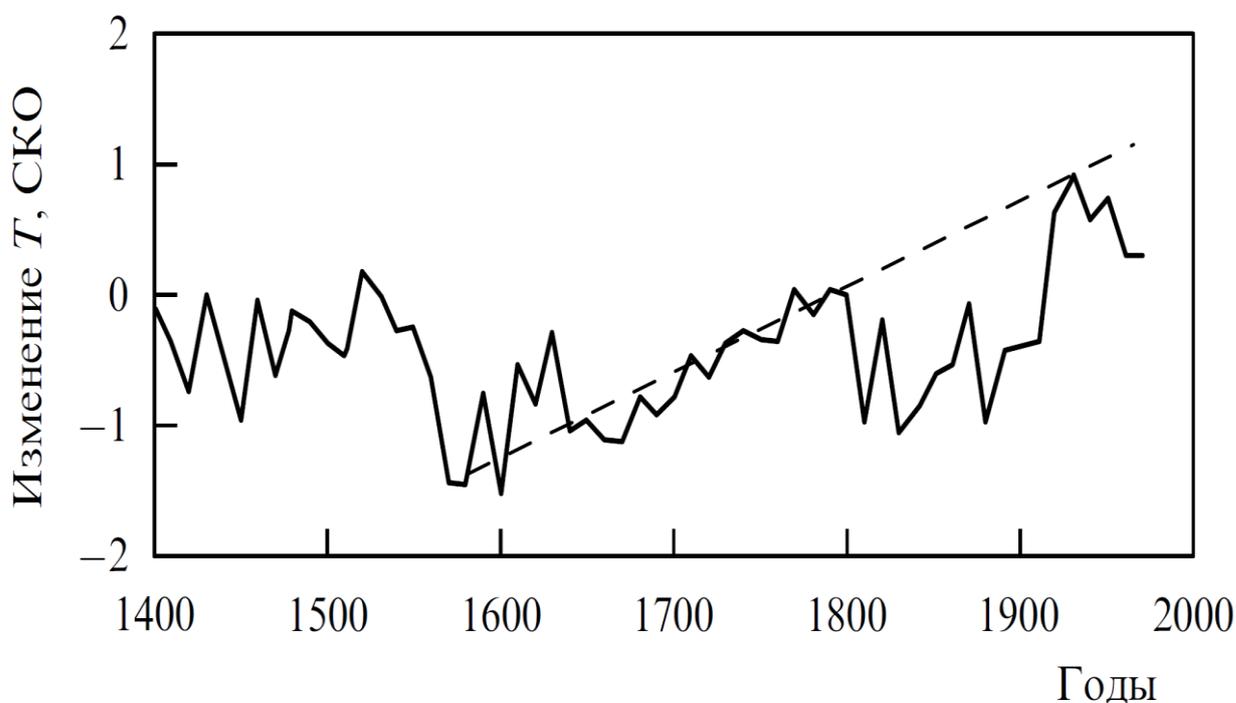
**Contents.** 1.1 Climate changes. 1.2. Geographical climate determination. 1.3. Climate system. 1.4. Statistical climate determination. 1.5. Used sources.

Изложенные материалы взяты из источников [1 – 3] и из Интернета без существенных переделок. При необходимости сослаться следует на первоисточники.

The materials presented are undertaken from the sources [1 – 3] and from the Internet without the essential alterations. If necessary, one should refer to the ultimate sources.

### 1.1. Климатические изменения.

Исторические изменения климата регистрировались "памятью поколений", они записывались в летописях, а в последние столетия регистрируются инструментальными измерениями (наиболее длинный ряд измерений температуры воздуха — 335 лет — собран по Центральной Англии Гордоном Мэнли.

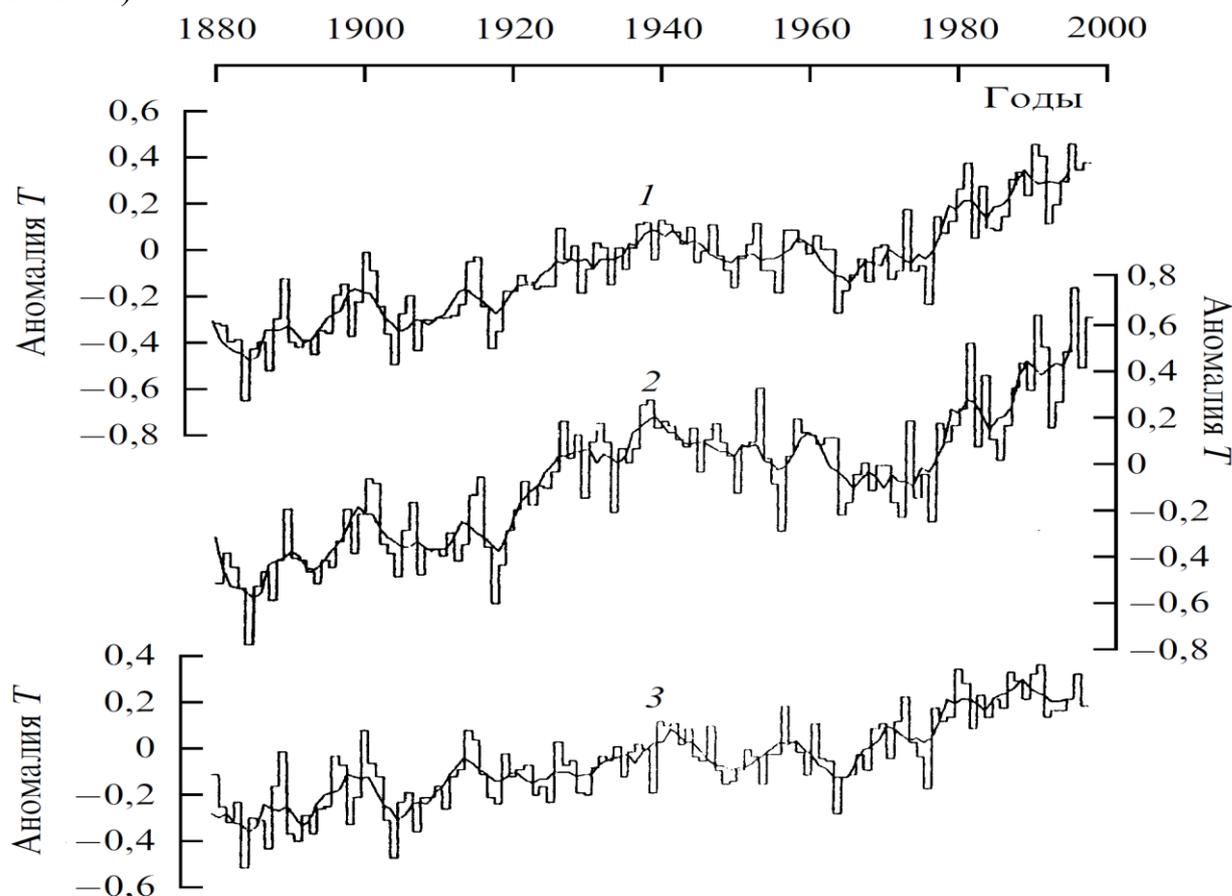


**Рис. 1.1.** Колебания летних температур в северном полушарии в "малом ледниковом периоде", по Брэдли и Джонсу. За единицу масштаба принято многолетнее среднее квадратичное отклонение (СКО). Штриховая прямая — линейный тренд, проведенный по экстремумам. (Источник [1]).

По историческим данным известно, что имел место "малый ледниковый период" (МЛП), начавшийся резким и глубоким похолоданием с двойным минимумом в 1570 и 1600 гг. и завершившийся тремя глубокими волнами холода в XIX веке. Рис. 1.1 дает сводный график летних температур в северном полушарии за 1400-1970 гг. с использованием кроме инструментальных также и косвенные данные: годовичные кольца деревьев, данные о таянии ледников и письменные свидетельства.

История МЛП описана в литературе. Отметим, что в 1300-1350 гг. Исландия и Норвегия отказались от возделывания зерновых злаков, а Англия — от виноградарства (перейдя на французские вина и портвейн, а позже создав производство ячменного виски и можжевелевого джина). Начало МЛП зафиксировано русскими летописями по Москве как чрезвычайно ранний и резкий заморозок, погубивший урожай — "побил мраз великий" — и вызвавший страшный голод (упомянутый Пушкиным в "Борисе Годунове"); по данным Корецкого, это было 28 июля, а по Новому Летописцу — 15 августа 1601 г.

Мы не знаем, почему начался МЛП и почему он закончился. Надо полагать, это произошло по естественным причинам (так как антропогенные воздействия на климатическую систему в тот период были, очевидно, малыми).



**Рис. 1.2.** Колебания средних годовых температур воздуха на земном шаре (1), северном (2) и южном (3) полушариях за последнее столетие, по Хансену и Лебедеву. Гладкие кривые получены пятилетним скользящим сглаживанием. (Источник [1]).

Многочисленные и разнообразные данные показывают, что резкие изменения с периодами  $10^0$  —  $10^5$  лет вообще типичны для климата. Короткопериодную их часть, с периодами  $10^0$  —  $10^2$  лет, можно назвать *перемежаемостью климата*. Изменения (аномалии) погоды с периодами в месяцы и годы лучше называть *долгосрочными изменениями погоды*. Они могут иметь региональный характер, но могут быть и глобальными — тогда их можно называть *вибрациями климата*.

В качестве примера таких вибраций на рис. 1.2 приводятся графики колебаний средних годовых температур земного шара и его северного и южного полушарий за последнее столетие, по Хансену и Лебедеву. Они показывают, что разности температур последующего и предыдущего годов изменялись в пределах  $\pm 0,40$  °С. Климат изменялся не монотонно, а как фон усиливающихся вибраций климатической системы.

Таким образом, одной из наиболее заметных особенностей климата является его изменчивость, и главной задачей теории климата оказывается предсказание его изменений на обозримое будущее. Сведения об изменениях климата воспринимаются большинством людей с опаской. Одной из причин этого является все улучшающаяся глобальная информация, быстро привлекающая всеобщее внимание к неблагоприятным аномалиям погоды, то и дело возникающим в различных регионах земного шара и нередко создающим стихийные бедствия, такие, например, как засухи 1968 — 1972 гг. в Сахеле (территория в южной Сахаре площадью 5,2 млн кв. км с населением в 60 млн человек), вызвавшие там страшный голод; засуха и лесные пожары 1972 г. в Восточной Европе; засуха 1976 г. в Западной Европе; засухи 1977 и 1980 гг. и суровые зимы 1978 — 1979 и 1980 — 1981 гг. в Северной Америке, существенно отразившиеся на мировых запасах зерна; недавние засухи и голод в Абиссинии (Эфиопии) и Сомали, и т.п.

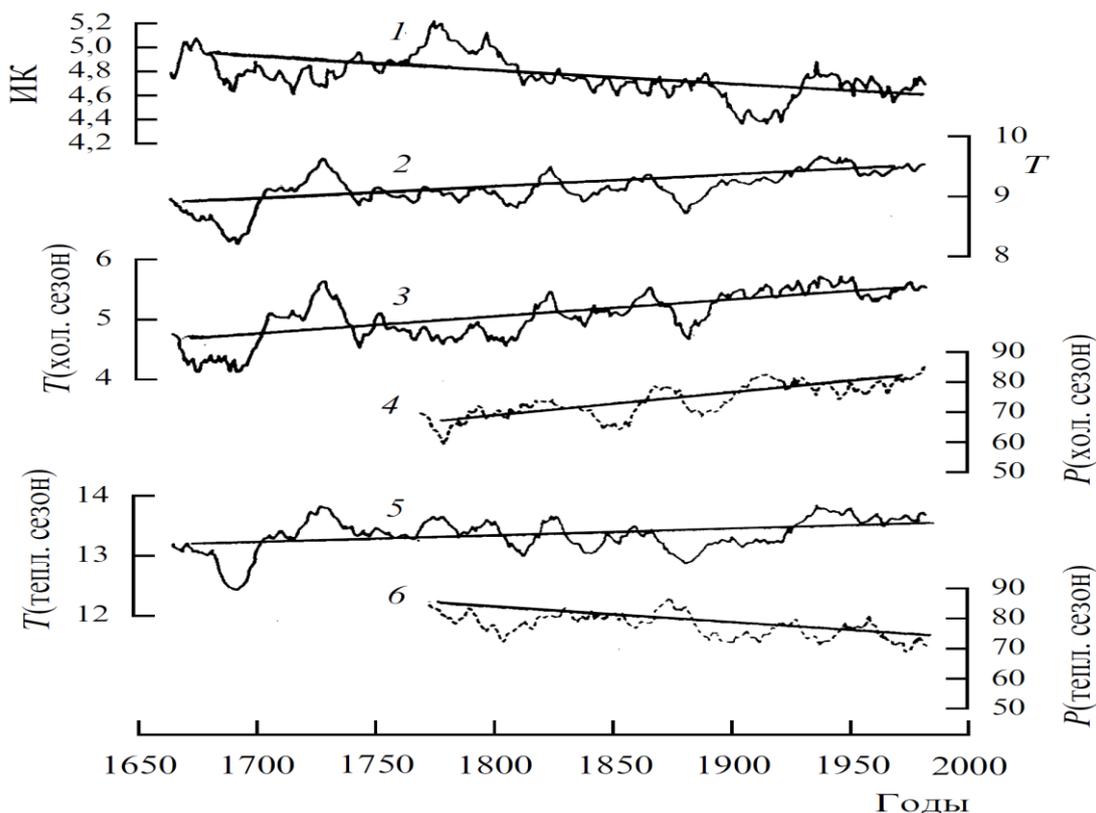
Что это — преходящие, свойственные современному климату, местные явления, или же проявления ухудшения глобального климата? И если справедливо второе, то создаются ли эти ухудшения естественными процессами или же они являются результатами прямого воздействия человеческой деятельности — сведения лесов (тропические леса уничтожаются со скоростью 114 тыс кв. км в год), опустынивания (сейчас со скоростью 60 тыс кв. км в год или 20 га в минуту), деградации почв (из-за которой человечество уже потеряло 2 млрд га плодородных земель, против 1,5 млрд га нынешних сельскохозяйственных земель и пастбищ), выделения углекислого газа в атмосферу при сжигании топлива (сейчас, в пересчете на углерод, около 6 млрд тонн в год или около одного процента от нынешнего содержания в атмосфере), увеличения количества производимого промышленностью аэрозоля (сейчас производится около 300 млн тонн в год) и фреонов, которые, проникая в стратосферу, ослабляют имеющийся там озоновый слой (их нынешняя продукция составляет 200 — 400 тыс тонн в год), т.п.? Мы еще не имеем сколько-нибудь надежных ответов на такие вопросы. Более того, мы не знаем, какие изменения климата для нас

благоприятны и какие неблагоприятны.

По сложившейся терминологии, похолодания называют *ухудшениями* климата, а потепления — *улучшениями*. Но на самом деле кроме температуры нужно учитывать, как минимум, еще и влажность, и суждения о "качестве" климата усложняются и становятся зависящими от широтной зоны или даже от региона.

Так, например, используя для Центральной Англии ряд средних месячных температур, по Мэнли, и 226-летний ряд месячных сумм осадков, по Джонсу и др., можно убедиться, что сезонные колебания осадков имеют в среднем минимум в апреле и максимум в октябре, причем температуры и осадки в сумме за год не коррелируют, но в теплых полугодиях они коррелируют отрицательно, а в холодных положительно.

Такая же тенденция сохраняется в трендах МЛП (рис. 1.3), т.е. потепление сопровождается ростом осадков холодных полугодий и их уменьшением в теплых полугодиях. Впрочем, это, вероятно, относится только к МЛП и к умеренным широтам, вообще же численное моделирование должно показать, на каком температурном уровне эта тенденция сможет быть преодолена общим повышением влагоемкости всей атмосферы.



**Рис. 1.3.** Тренды МЛП по данным, осредненным 15-летним скользящим сглаживанием: 1 — средние квадратичные размахи сезонного хода температуры ("индексы континентальности"); 2 — средние годовые температуры; 3 и 5 — средние температуры холодных и теплых полугодий; 4 и 6 — средние месячные осадки холодного и теплого полугодий. (Источник [1]).

И "вибрации", представленные на рис. 1.2, и "перемежаемость", один из примеров которой показан на рис. 1.1, а в какой-то мере и более длиннопериодные колебания климата производят впечатление хаотических и напоминают поведение изучаемых в современной теории хаоса динамических систем, эволюционирующих на имеющихся в их фазовых пространствах предельных множествах со сложной структурой — так называемых *странных аттракторах*. Это понятие было введено Эдвардом Лоренцем.

С этой точки зрения, теорией изменений климата должна быть *статистическая динамика климатической системы*. Ясно, что построение такой теории не может быть задачей географии, к которой до 60-х годов текущего столетия относилась климатология, и оно должно быть переадресовано физике. Это тем более естественно, что расшифровка данных о климатах прошлого и современных его изменениях все в возрастающей мере требует использования физических методов.

Такой подход к определению климата явился основой международной Программы исследования глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), организованной в 1967 г. Международным советом научных союзов (МСНС) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО) с задачами разработки численных моделей общей циркуляции атмосферы для целей долгосрочного прогноза погоды, а также наблюдательных экспериментов по сбору глобальных начальных данных для таких прогнозов. Эта программа была опубликована в 1975 г. в виде монографии.

Однако в дальнейшем выполнение ПИГАП затянулось, и первый глобальный эксперимент по этой программе был проведен только через 13 лет и оказался весьма неполным в части освещения океанов и южного полушария. На второй эксперимент страны-участницы не пошли, и вместо этого МСНС, ВМО и Межправительственная Океанографическая Комиссия ЮНЕСКО организовали Всемирную Климатическую Программу (ВКП). Ее значение было подчеркнуто в 1992 г. решениями Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро, в том числе Конвенцией ООН об изменении климата, предусматривающей ограничение выбросов в атмосферу углекислого газа, возможно, несколько поспешной и недостаточно обоснованной. Но, с другой стороны, любые экологические ограничения, в принципе, следует считать желательными (вообще же решения ООН, принятые под давлением американских корпораций, возражавших против экологических ограничений, оказались половинчатыми; это относится и к введенному в указанных решениях сомнительному понятию "поддерживаемого развития", весьма неудачно переводимому на русский язык как "устойчивое развитие").

## **1.2. Географическое определение климата.**

Термин "климат" (в переводе с греческого — "наклон") ввел древнегреческий астроном Гиппарх из Никеи (190 — 120 гг. до н.э.), разделивший Землю на

пять широтных зон — полярные, умеренные и тропическую, отличающиеся наклоном солнечных лучей (т.е. высотой Солнца над горизонтом). Александр Гумбольдт в своей пятитомной книге "Космос" (1845 — 1862 гг.) добавил к этому "наклону" влияние подстилающей поверхности океана и суши на атмосферу.

В дальнейшем была развита и детализирована, прежде всего в трудах Василия Докучаева (1857 — 1903 гг.), теория широтной, а затем и вертикальной географической, в том числе и климатической зональности поверхности суши, появился целый ряд географических определений и типизаций климата, и были построены многочисленные климатические карты — средних температур, осадков, атмосферного давления (приведенного к уровню моря) для различных сезонов и для года в целом.

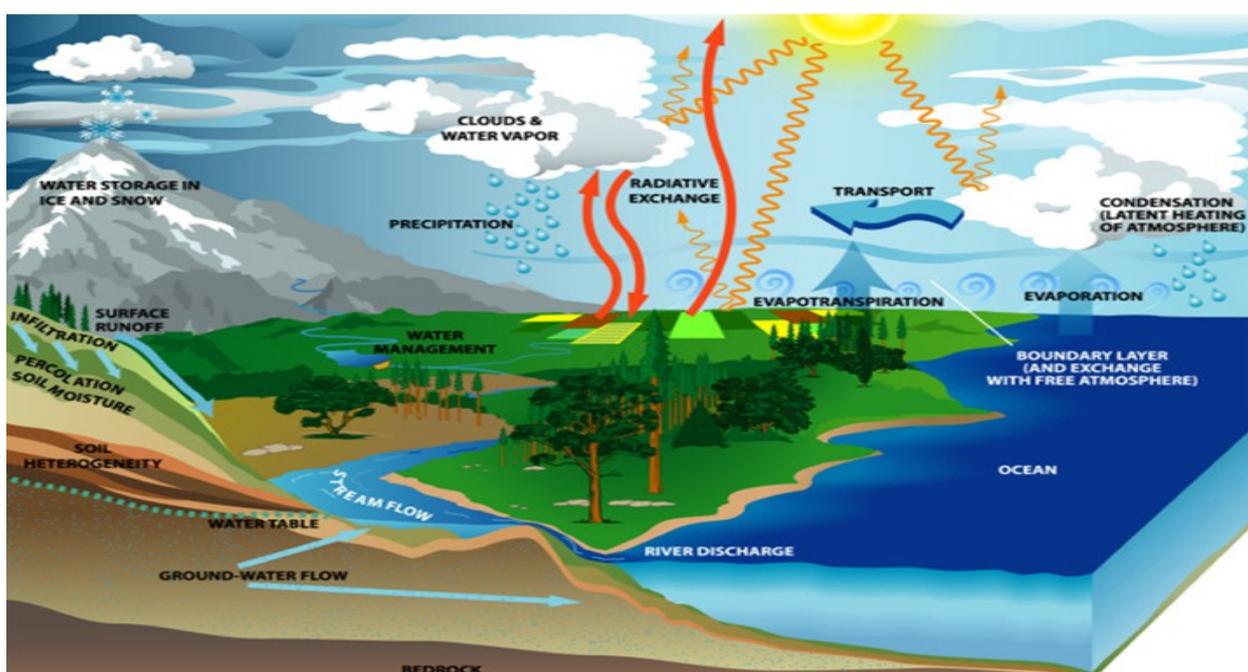


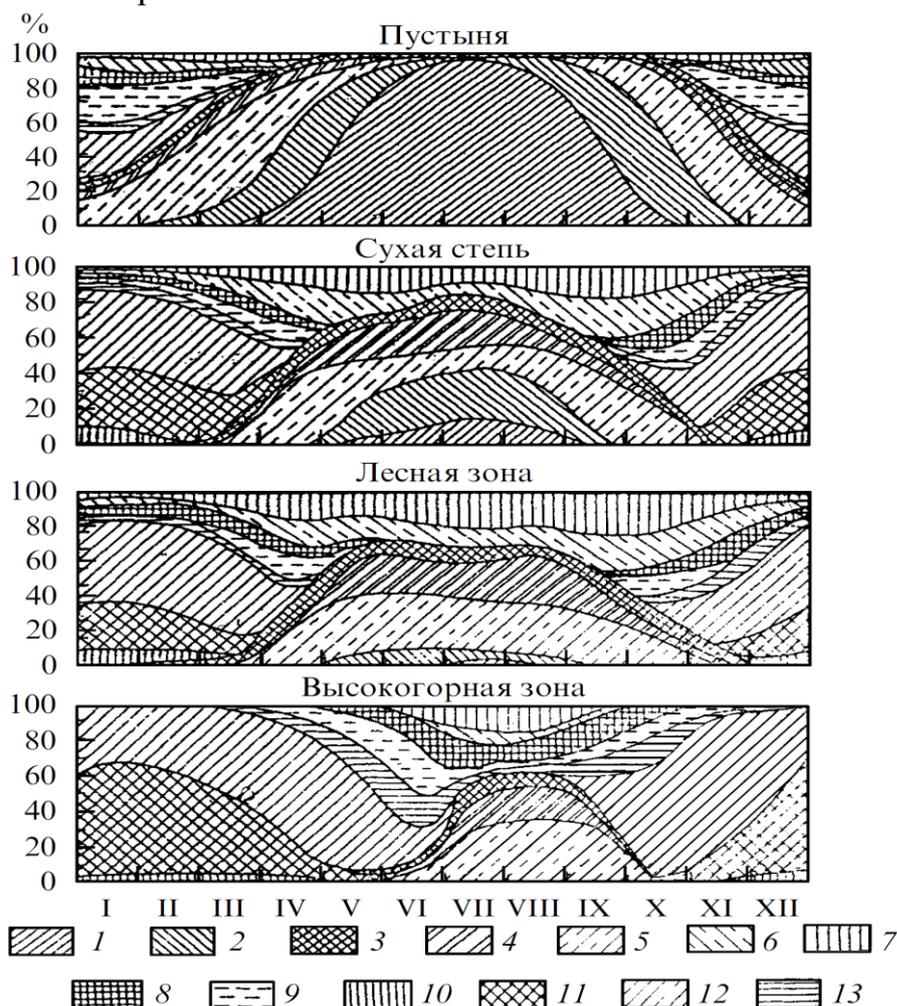
Рис. 1.4. Схема взаимодействий в климатической системе. ([к источнику](#))

Сейчас различают экваториальную, субэкваториальные, тропические (пассатные), субтропические, умеренные, субполярные и полярные климатические зоны. На суше им отвечают определенные виды растительности (или ландшафты) — тропические (дождевые) леса, саванны, субтропические пустыни, степи, лиственные (листопадные) леса, хвойные леса, тундры, снежно-ледниковые области.

Экваториальной и пассатным зонам свойственны конвективная облачность и ливневые осадки, так что эти зоны оказываются влажными (гумидными). Субтропические зоны оказываются засушливыми (аридными). Циклоны в умеренных широтах сопровождаются обильными осадками, следовательно, эти зоны опять оказываются гумидными. В холодных полярных областях воздух относительно сух.

Примером может служить так называемая комплексная климатология Е.Е.

Федорова, представляющая климаты природных зон суши как статистические ансамбли соответствующих им "погод" с их сезонными колебаниями, изображенными на рис. 1.4.



**Рис.1.5.** Примеры сезонных колебаний статистических ансамблей "погод", составляющих климаты природных зон суши, по Е.Е. Федорову [21]. Погоды с температурами выше  $0^{\circ}\text{C}$ : 1 — суховейно-засушливая; 2 — засушливая; 3 — облачная ночью; 4 — облачная днем; 5 — малооблачная; 6 — облачная без осадков; 7 — дождливая; 8 — облачная. Погоды с переходом температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ : 9 — малооблачная; 10 — сильно морозная; 11 — значительно морозная; 12 — умеренно морозная; 13 — слабо морозная. (Источник [1]).

Однако, географический подход непригоден для теории изменений климата из-за имеющихся в нем двух радикальных недостатков. Во-первых, климат в нем рассматривается как некоторое *устойчивое "среднее" состояние*, флуктуации которого трактуются как дополнительные, как бы второстепенные его характеристики. Во-вторых, он рассматривается как режим одной только атмосферы, самой по себе.

Но выше приводились примеры резкой и хаотичной изменчивости климата, из-за которой средние климатические карты в ряде отношений могут иметь не большее значение, чем средняя температура больных в госпитале. Поэтому теорию климата следует строить как статистическую, т.е.

имеющую дело с распределением вероятности по фазовому пространству климатической системы.

### 1.3. Климатическая система.



Рис. 1.6. Способы мониторинга климатической системы. (Источник [3]).

В быту *погодой* называют состояние нижнего слоя атмосферы, характеризующееся значениями метеорологических элементов, непосредственно ощущаемых людьми, — прежде всего, температурой воздуха, скоростью и направлением ветра, количеством и формами облаков, количеством и видом осадков и т. п. При этом *климатом* можно назвать характерные для данного региона *совокупность и повторяемость* условий погоды с их сезонными изменениями (это — определение так называемой комплексной климатологии Е. Е. Федорова).

При анализе формирования погоды и климата бытовые определения этих понятий целесообразно расширить. Во-первых, ясно, что состояние нижнего слоя атмосферы во многом зависит от состояния ее верхних слоев, так что погодой лучше называть мгновенное состояние *всей толщи атмосферы*. Во-вторых, будущие изменения погоды в данном географическом пункте определяются прежде всего погодой в данный момент времени в некоторой окружающей области, тем большей, чем дольше рассматриваемый период будущего времени, при периодах больше месяца — погодой на всем полушарии (например, при западном переносе с типичной скоростью  $10 \text{ м/с} = 36 \text{ км/ч} = 864 \text{ км/сут}$  воздух в умеренных широтах за месяц обходит вокруг всего земного шара. так что целесообразно рассматривать *глобальную погоду*, т. е. мгновенное состояние всей атмосферы в целом. В-третьих, за длительные периоды атмосфера успевает заметно провзаимодействовать с океаном и верхним слоем суши, так что на ее эволюции сказываются их начальные состояния, которые, следовательно, также надо принимать во внимание.

Таким образом, при анализе долгосрочных изменений погоды и климата необходимо рассматривать всю атмосферу, океан и деятельный слой суши (далее для краткости называемый просто сушей) как взаимодействующие части единой системы (называемой *системой АОС* или *климатической системой*), начальное состояние которой при неизменных внешних условиях

полностью определяет ее эволюцию во времени.

Для сопоставления роли различных частей системы АОС в табл. 1 приведены основные их характеристики.

Табл. 1. Характеристики атмосферы, поверхностного слоя океана (средняя толщина 240 м) деятельного слоя суши толщиной 10 м.

Часть АОС	Масса (т)	Теплоемкость (МДж/К)
Атмосфера	$5.3 \cdot 10^{15}$	$5.3 \cdot 10^{15}$
Океан	$8.7 \cdot 10^{16}$	$3.6 \cdot 10^{17}$
Суша	$3 \cdot 10^{15}$	$2.4 \cdot 10^{15}$

Таким образом, отношение А : О : С по массам равно 1 : 16,4 : 0,55, а по теплоемкостям 1 : 68,5 : 0,45. Отсюда видно, что и в механическом, и в тепловом отношении океан играет в системе АОС роль наиболее инерционного звена.

Для достаточно полной характеристики мгновенных состояний системы АОС надо использовать функции от пространственных координат (так называемые *поля*). Таким образом, математически *мгновенное состояние* системы АОС определяется, как *многокомпонентное поле (полный набор независимых величин)*. В качестве *основного набора независимых величин*, характеризующих состояния атмосферы, можно взять *поля трехмерного вектора скорости ветра  $v$ , давления  $p$ , температуры  $T$  и концентрации водяного пара — удельной влажности  $q$  (в облаках также концентрации жидкой воды  $q_w$  и льда  $q_l$ )*. кроме влаги, важны также концентрации и других малых термодинамически активных примесей (ТАП), влияющих на лучистый перенос энергии,— углекислого газа  $CO_2$ , озона  $O_3$  и аэрозолей различных видов.

В качестве *основных характеристик состояния океана* можно взять *поля трехмерного вектора скорости течения  $V$ , температуры  $T$  и солёности  $S$ ; важны также концентрация  $CO_2$  (и влияющие на нее факторы) и состояние поверхности океана—волнение и ледяной покров (включая айсберги)*.

Количественное описание состояний суши как звена в системе АОС должно позволить определять ее взаимодействия с атмосферой и океаном. Нужно знать *рельеф, его способность меняться при нарастании и стаивании ледниковых щитов; шероховатость поверхности суши, определяемую, прежде всего, растительностью и наличием снежного покрова*. Для учета теплового воздействия необходимы отражательная способность — *альбедо* и *излучательная способность для различных длин волн солнечного света и инфракрасного излучения и поле температуры*, определяющее собственное излучение и контактный теплообмен.

*Система АОС глобальна*, и ее состояния характеризуются пространственными неоднородностями с масштабами от глобальных (горизонтальные масштабы порядка  $10^4$  км и вертикальные  $10^1$  км, объемы

$10^9$  км<sup>3</sup>) до минимальных порядка размеров мельчайших турбулентных неоднородностей в атмосфере и океане, листьев растений и структурных неоднородностей и пор в почвах на суше. При минимальном масштабе порядка 1 мм в системе АОС содержится примерно  $10^{27}$  однородных мини-объемов. Если состояние каждого из них характеризуется, скажем, десятью величинами, то система АОС имеет  $10^{28}$  степеней свободы. Индивидуальное описание всех этих степеней свободы, очевидно, практически неосуществимо. Поэтому неоднородности рассматриваемых полей приходится разделять на *крупномасштабные*, описываемые индивидуально, и *мелкомасштабные*, описываемые лишь статистически.

### Generalized diagram of the Earth system

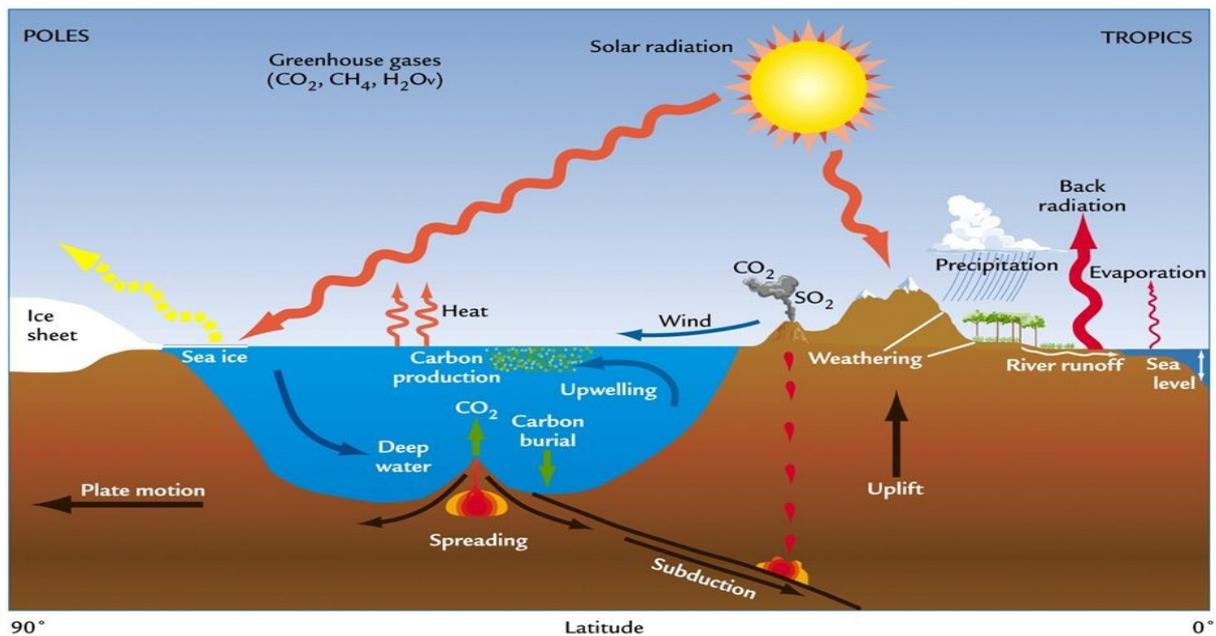


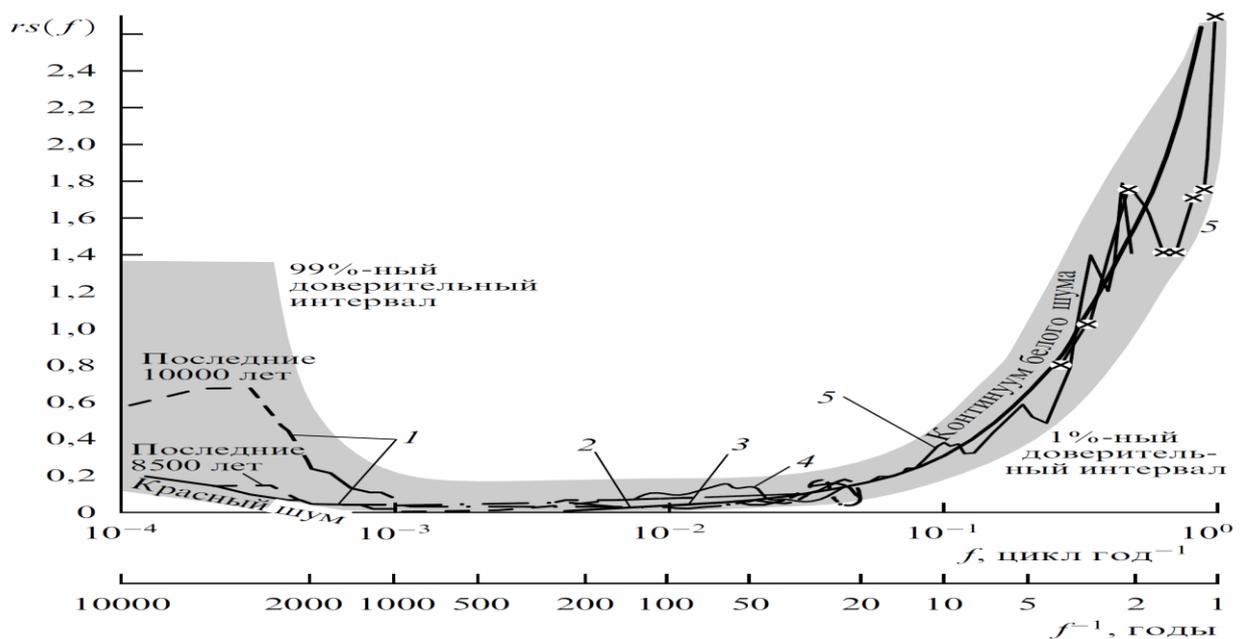
Рис. 1.7. Схема взаимодействий в АОС системе. ([к источнику](#))

Мелкомасштабные неоднородности в атмосфере и океане создаются высокочастотными гидродинамическими процессами с периодами от долей секунды до минут (*акустические волны, турбулентность* и гравитационные волны на поверхности водных бассейнов) и от минут до часов (*внутренние гравитационные волны, конвекция, инерционные колебания*). Их статистический режим определяется индивидуальным состоянием крупномасштабных неоднородностей в системе АОС и поэтому в принципе может быть *параметризован*. Это значит, что статистические характеристики, описывающие влияние мелкомасштабных неоднородностей на крупномасштабные (или представляющие интерес для других целей), могут быть выражены через индивидуальные характеристики крупномасштабных неоднородностей.

Состояния системы АОС изменяются со временем, причем в этих изменениях имеются, во-первых, составляющие со строго определенными периодами — *суточные колебания*, вызываемые суточными изменениями

инсоляции (т. е. облучения солнечным теплом) вследствие вращения Земли, *приливные колебания*, вызываемые гравитационными воздействиями Луны и Солнца на вращающуюся Землю (основные из них — это главные *полусуточный* и *суточный лунные приливы* с периодами около 12 ч 25 мин и 24 ч 50 мин и главные *полусуточный* и *суточный солнечные приливы* с периодами в полсутки и сутки) и сезонные колебания (включая все муссонные эффекты), вызываемые изменениями инсоляции при обращении Земли вокруг Солнца (вследствие наклона экватора к эклиптике и эксцентриситета земной орбиты).

Во-вторых, в изменениях состояния системы АОС со временем имеются весьма интенсивные нерегулярные составляющие — *синоптические колебания*, вызываемые волнами Россби—Блиновой (в атмосфере — с масштабами порядка  $10^3$  км и периодами в несколько суток, в океане — с масштабами порядка  $10^2$  км и периодами в несколько недель), *глобальные колебания* с периодами от недель до месяцев (включая приблизительно двухнедельный цикл колебаний зональной циркуляции атмосферы в умеренных широтах и автоколебания в системе атмосфера—океан с периодами порядка месяцев) и *междугодичные колебания* с наибольшей интенсивностью в области периодов 2—5 лет (включая *26-месячный* ритм колебаний зонального течения в экваториальной стратосфере, *квазидвухлетнее* явление Эль-Ниньо в восточной части экваториальной зоны Тихого океана, *3,5-летние автоколебания* северной ветви Гольфстрима, перемещения тепловых аномалий по гигантским океаническим круговоротам и процессы, создаваемые междугодичными изменениями альbedo и радиационного бюджета Земли).



**Рис. 1.8.** Сводный спектр колебаний температуры воздуха в Северо-Атлантическом секторе земного шара, по Куцбаху и Брисону  $f$  — частоты, цикл год $^{-1}$ ;  $s(f)$  — спектральная плотность; **1** — Центральная Англия, палеоботаника; **2** — то же, летописи; **3** — Исландия, летописи; **4** — Гренландия, по  $3^{180}$ ; **5** — Центральная Англия, по ряду Мэнли (Источн [1]).

Имеющиеся данные показывают, что длиннопериодные колебания в системе АОС с периодами в десятки лет (*внутривековые*) и сотни лет (*междувековые*) в среднем заметно менее интенсивны, чем короткопериодные колебания, перечисленные выше (но все же могут представлять большой интерес, как, например, «малый ледниковый период» XVII—XIX вв. и потепление первой половины XX в.). Длиннопериодные колебания с периодами в тысячи лет (переходы от ледниковых к безледниковым условиям) и в десятки тысяч лет (чередования ледниковых периодов и межледниковий) вновь оказываются весьма интенсивными. В качестве примера на рис. 1.8 демонстрируется энергетический спектр  $fS(f)$  колебаний температуры воздуха в Северо-Атлантическом регионе в интервале периодов  $\tau \sim 1$  от 2 до 10 000 лет (по Дж. Куцбаху и Р. Брисону), который имеет широкий минимум в интервале периодов от 20 до 1000 лет

#### 1.4. Статистическое определение климата.

Для организации различных видов человеческой деятельности, для понимания биогеографии флоры и фауны и т. п. нужно знать не индивидуальную хронологическую последовательность состояний системы АОС, а их *статистику*, т. е. пределы изменения этих состояний и их повторяемости за длинный промежуток времени. Для обеспечения устойчивости статистических характеристик состояний системы АОС, *длительность промежутка осреднения* следует выбирать из интервала периодов, в котором спектры колебаний характеристик системы АОС, типа приведенных на рис. 1.8, имеют *минимум*, причем практически удобнее брать короткопериодную часть этого интервала, т. е. область периодов в несколько десятилетий. Международными метеорологическими конференциями 1935 г. в Варшаве и 1957 г. в Вашингтоне для определения характеристик современного климата атмосферы было рекомендовано избирать *тридцатилетние периоды осреднения*.

Таким образом, мы приходим к следующему определению: *климатом называется статистический ансамбль состояний, проходимых системой АОС за периоды времени в несколько десятилетий*. Под статистическим ансамблем здесь понимается множество  $U$  элементов  $a$  с заданной на нем вероятностной мерой  $P(A)$ , указывающей для каждого измеримого подмножества  $A \subset U$  его вероятность  $P\{a \in A\}$ . Международными метеорологическими конференциями 1935 г. в Варшаве и 1957 г. в Вашингтоне для определения характеристик современного климата атмосферы было рекомендовано избирать тридцатилетние периоды осреднения.

Поскольку состояния системы АОС суть многокомпонентные поля, математически климат определяется, как *многокомпонентное случайное поле*. Его полным описанием было бы указание *всех конечномерных распределений вероятности* для значений компонент этого поля на всевозможных конечных множествах точек пространства. Однако столь полное описание практически

неосуществимо. Часто ограничиваются изучением первых и вторых моментов, т. е. климатических средних значений, дисперсий и корреляций независимых величин и некоторых функций от них.

Поскольку система АОС глобальна, указанное определение климата подразумевает понятие *глобального климата*. Это несколько противоречит первоначальной идее Гиппарха (см. п. 1.2) о выделении различных климатических зон. Поэтому можно рассматривать *локальные климаты*, которые с математической точки зрения являются одноточечными распределениями вероятности в фиксированных точках пространства. Локальные климаты являются подмножествами глобального климата, но *полная совокупность локальных климатов во всех точках пространства еще не образует глобального климата*, так как она не содержит многоточечных распределений вероятности (в частности, например, двухточечных корреляций).

Характеристики климата удобно подразделять на *интегральные (глобальные)*, распределения по высоте (*вертикальные профили*), распределения по широте (*зональные профили*), *незональные неоднородности*.

### **1.5. Использованные источники к ч. 1.:**

1. Монин А.С., Шишков Ю.А.. Климат как проблема физики. Успехи физических наук. т. 170, № 4, с. 419 – 447, 2000.
2. Монин А. С. Введение в теорию климата. Ленинград Гидрометеоздат 1982, 247 с.
3. Климат. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат>