

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тихоокеанский государственный университет»

**О. М. Морина, А. М. Дербенцева, В. А. Морин**

# **МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ**

*Утверждено издательско-библиотечным советом университета  
в качестве учебного пособия*

Хабаровск  
Издательство ТОГУ  
2013

УДК 551.5(075.8)  
ББК Д23я7+Д247я7  
М795

*Рецензенты:*

Кафедра «Нефтегазовое дело, химия и экология Дальневосточного университета путей сообщения (завкафедрой д-р биол. наук, проф. Л.И. Никитина, д.б.н., профессор кафедры биологии, экологии и химии Дальневосточного государственного гуманитарного университета, д-р биол.наук, профессор В. Т. Тагирова

Научный редактор  
д.х.н., доцент Л. П. Майорова

**Морина О. М.,**  
М795 Пособие О. М. Морина, А. М. Дербенцева, В. А. Морин  
**Метеорология и климатология** - Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013.

—

**ISBN 978-5-7389-1275-7**

Издание предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров на дневной, заочной и дистанционной формах обучения по специальности «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (профиль «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов»).

Даются основные сведения о проведении климатических исследований. Рассматривается значение подстилающей поверхности в формировании газового состава атмосферы. Приведен материал формирования климата и погоды, цикличности. Весь материал подобран применительно к охране окружающей среды и основным принципам устойчивого развития и сохранения Земли.

УДК 551.5(075.8)  
ББК Д23я7+Д247я7

**ISBN 978-5-7389-1275-7**

© Тихоокеанский государственный университет, 2013  
© Морина О. М., Дербенцева А. М., Морин В. А. 2013

## Введение

Целью преподавания дисциплины является формирование у студентов целостного представления о Земле как о полифункциональной системе. Задачи курса – изучение газообразной оболочек Земли как комплекса единой геосистемы в их динамическом и циклическом развитии.

В курсе «Метеорология и климатология» глобальный климат рассматривается как статистическая совокупность состояний, которые проходит система «атмосфера - океан - суша - криосфера- биосфера» за многолетние периоды. Основным компонентом климатической системы является атмосфера. Это самая подвижная и изменчивая составляющая системы. Вторым по важности компонентом является *гидросфера*, в которой доминирующая роль принадлежит Мировому океану. Суша в целом менее динамична, чем остальные компоненты климатической системы. Криосфера имеет большое значение в формировании климата. Биосфера (живое вещество) оказывает активное воздействие на все компоненты климатической системы. Почвы являются основным богатством человечества. Вода, которая может находиться в любых фазовых состояниях (жидком, твердом и газообразном) связывает воедино все компоненты системы.

Динамика климата является одной из важнейших показателей устойчивости биосферы в целом и конкретной территории в частности. Таким образом, главный ресурс территории в современных экономических условиях – это сама системная организация естественных режимов и взаимосвязей в экосистемах. Поэтому обязательным этапом любых предпроектных территориальных разработок должна стать оценка уязвимости функциональных механизмов территории при хозяйственном воздействии. Неистощительное природопользование возможно только на базе разработок долгосрочной стратегии, поскольку для оптимального функционирования экосистем необходимы равновесные условия в системе биота - абиотические факторы.

## Основные понятия метеорологии и климатологии

**Метеорология** – это наука о земной атмосфере, ее строении, свойствах и физических процессах, происходящих в ней. Название науки произошло от греческого слова «метеорос», что означает находящиеся вверху, в воздухе. В буквальном смысле - это наука о падающих с неба метеорах, под которыми подразумевается дождь, снег, град, ветер, радуга.

Целью науки метеорологии является изучение физических свойств атмосферы и происходящих в ней явлениях во взаимосвязи со свойствами и влиянием подстилающей поверхности: суши, моря. Метеорология изучает:

- состав и строение атмосферы;
- теплооборот и тепловой режим в атмосфере и на земной поверхности;
- влагооборот и фазовые превращения воды в атмосфере, движения воздушных масс;
- электрические, оптические и акустические явления в атмосфере.

Одна из главных задач метеорологии - прогноз погоды на различные сроки. Важнейшая задача метеорологии – физическое объяснение атмосферных процессов и явлений, выявление причинно-следственных связей и закономерностей, управление их развитием. Объектом изучения метеорологии является газовая оболочка Земли, называемая атмосферой (от греч. *atmos* – пар). Атмосфера окружает твердую оболочку Земли слоем в несколько тысяч километров и является довольно изменчивым и деятельным компонентом природы. В ней протекают процессы поступления и преобразования лучистой энергии, круговорота тепла и влаги. Метеорология относится к геофизическим наукам, т. к. изучение и объяснение атмосферных процессов и явлений основывается на законах физики. Метеорология очень сложная наука и разносторонность знаний об атмосфере привело к необходимости выделения ряда ее раздела в самостоятельные научные дисциплины.

Основные задачи климатологии состоят в изучении атмосферных процессов за длительный период, обобщении результатов измерений параметров погоды во всех пунктах наблюдений с определением их средних и экстремальных величин и повторяемости сочетаний отдельных

метеоэлементов. Прикладными отраслями климатологии являются: биоклиматология, агроклиматология, палеоклиматология, медицинская климатология и др.

Аэроклиматология - раздел климатологии, изучающий климатические условия в тропосфере и нижней стратосфере (до высоты 25 км) с помощью шаропилотных и радиозондовых наблюдений. Биоклиматология - раздел климатологии, изучающий влияние климатических факторов на жизненные процессы и функции человека, животных и растений. Динамическая климатология - раздел климатологии, рассматривающий климат как результат процессов общей циркуляции атмосферы.

Основным разделом метеорологии является физика атмосферы. К метеорологии также относятся актинометрия, динамическая и синоптическая метеорология, атмосферная оптика, атмосферное электричество, аэрология, а также другие прикладные метеорологические дисциплины. Физика атмосферы в свою очередь подразделяется на ряд самостоятельных разделов: физика приземного слоя, физика высоких слоев атмосферы, физика облаков и осадков; актинометрия.

Актинометрия – это раздел геофизики, в котором изучаются перенос и это превращения излучения в атмосфере, гидросфере и на поверхности Земли. Синоптическая метеорология (от греч. *synoptikos* — способный всё обозреть), раздел метеорологии, изучающий атмосферные процессы, определяющие условия погоды и их изменения с целью разработки методов прогноза погоды. Потребности различных отраслей народного хозяйства обусловили создание многих прикладных дисциплин, таких как авиационная, космическая, медицинская, лесная метеорология, агрометеорология и т.д.

**Климатология** - это наука о закономерностях формирования климатов в различных географических районах и о климатическом режиме в разных странах и регионах. Она тесно связана с метеорологией, так как формирование различных типов климата и их распределение по земному шару определяется особенностями протекания атмосферных процессов в разных географических районах.

Понятие «климат» было введено Гиппархом Никейским (190-125 г. до н. э.). По-гречески «климат» значит наклон (Моисеев и др. , 1985). Имеется ввиду наклон поверхности к лучам Солнца. Определение

понятия «климат» как статистического ансамбля состояний, проходимых системой атмосфера – океан – суша в несколько десятилетий было выработано не так давно. В настоящее время совершенно очевидно, что климат – это результат развития сложнейшей системы взаимодействия гидросферы, атмосферы, биосферы и земной коры. К тому же Земля, как планета, испытывает влияние космических факторов.

### **Основные этапы развития метеорологии. Международное сотрудничество**

Метеорологические знания накапливались человечеством с древнейших времен: отдельные сведения о наблюдениях атмосферных явлений имеются в письменных источниках древнего Китая, Индии, Египта, Греции и Рима. Содержатся подобные сведения и в русских летописях. Первая попытка объяснить некоторые атмосферные явления была предпринята Аристотелем в IV веке до н.э. и зафиксирована им в его книге «Метеорологика».

В России 25.05.1650 г. был издан приказ царя о наблюдениях. В 1657 - 1677гг. уже было более 2000 записей о погоде в Москве. Петр 1 ввел отчасти дневник погоды. Записи производились в русском флоте в вахтенных журналах. С 1777 г Екатерина II велела записывать сведения о невских наводнениях и видах на урожай и сама вела наблюдения за реками: даты вскрытия, продолжительность ледовых явлений и т.д. Сталин также работал в Тифлисе на сборе метеоинформации. Первый директор обсерватории был Купфер, в Европе таких наблюдений еще не было. Наши декабристы также собирали данные. При Столыпине было создано в 3 раза больше пунктов наблюдений. В 1919 г был создан ГГИ, в 1943-государственный океанографический институт. В 1947 г стали использовать метеорологические и геофизические ракеты, в 1959 г – было построено гидрографическое судно Войков. С 1967 г начали работать искусственные спутники Земли «Метеор».

Начало современной научной метеорологии относится к XVII веку, когда были заложены основы физики, изобретены первые метеорологические приборы: термометр (Галилей, 1603 г.), ртутный

барометр (Торичелли, 1643 г.), барометр-анероид (Лейбниц, 1700 г.) и начаты инструментальные наблюдения.

В России систематические инструментальные наблюдения начали по инициативе Петра I с открытием в Петербурге в 1725 г. Академии наук. Несколько позднее (в 1733 г.) ряд метеорологических станций на Урале и в Сибири был создан экспедицией под руководством В.Беринга. Метеостанция «Охотск» начала свою работу с 1789 г., «Николаевске-на-Амуре» с мая 1820, «Хабаровск» с 1910 г.

Выдающийся вклад в развитие мировой метеорологии внес М.В. Ломоносов. Он создал первую теорию атмосферного электричества, высказал ряд важных теоретических положений о слоистом строении атмосферы, о причинах горизонтального и вертикального движения воздуха. Им сконструированы также несколько оригинальных метеорологических приборов, в том числе анемометр и универсальный барометр. Им была доказана необходимость организации сети метеорологических станций с единой методикой наблюдений.

Во второй половине XIX века выполнены фундаментальные исследования по климатологии крупнейшим русским географом и климатологом А.И. Воейковым, научные труды которого, посвященные выявлению физических закономерностей формирования климата, характеристике климата земного шара и особенно России, не потеряли своего значения до сих пор. В XX веке наблюдается бурное развитие всех отраслей метеорологии, чему способствовало открытие важнейших законов физики и разработка новых методов исследования атмосферы. Благодаря изобретению П.А. Молчановым радиозонда (1930 г.) наземные метеорологические наблюдения стали дополняться исследованиями высоких слоев атмосферы.

Важнейшую роль в развитии метеорологии, а также в метеорологическом обслуживании народного хозяйства всех стран мира играет *международное сотрудничество в области метеорологии*. Атмосферные процессы не знают государственных границ и носят глобальный характер. Поэтому многие проблемы в метеорологии могут быть решены только при условии одновременных исследований на обширных пространствах земного шара.

Большое значение для научных исследований, оперативного прогнозирования погоды и обслуживания народного хозяйства имеет *международный обмен метеорологической информацией*. Россия является членом Всемирной метеорологической организации (ВМО), созданной при Организации Объединенных Наций в 1950 г или ООН в области метеорологии. Является компетентным органом ООН по вопросам наблюдения за состоянием атмосферы и ее взаимодействия с океаном. Штаб-квартира находится в Женеве. День вступления в силу Конвенции об основании ВМО 23 марта отмечается как Всемирный метеорологический день. В ВМО входят 189 государств (декабрь 2009 г). ВМО возникла из ММО (Международной Метеорологической Организации), которая была основана в 1873 г. В рамках ВМО в 1967 г. была организована Всемирная служба погоды (ВСП), состоящая из глобальной системы наблюдений, телесвязи и обработки данных. В систему ВСП входят три мировых центра - в Москве (Гидрометцентр России), Вашингтоне и Мельбурне и 25 региональных центров. Обмен информацией происходит весьма быстро: например, данные со всего Северного полушария могут быть собраны за 3-4 часа, а со всего земного шара - за 7-10 часов.

ВМО приняты и разрабатываются ряд крупнейших научных программ: Программа исследования глобальных атмосферных процессов (ПИГАП). ПИГАП подразделяется на несколько подпрограмм - Тропический, Полярный, Комплексный энергетический, Муссонный эксперименты. Эти программы выполняются многими странами с привлечением большого числа ученых и с использованием огромного количества технических средств сбора и обработки информации. Так, в Первом глобальном эксперименте ПИГАП было задействовано 9200 метеорологических, 850 аэрологических станций, 9 спутников, 89 самолетов, 368 дрейфующих буев и др. Такие исследования невозможно провести в отдельной стране

### **Метеорологические величины, атмосферные явления**

Вследствие взаимодействия с земной поверхностью и космическим пространством физическое состояние атмосферы непрерывно изменяется.



Для характеристики этого состояния используют метеорологические величины и атмосферные явления.

*Метеорологические величины* — это температура, влажность, давление, скорость и направление ветра, количество и интенсивность осадков, потоки солнечной энергии, метеорологическая дальность видимости, которые могут быть выражены в тех или иных единицах измерения. Количественная оценка (мера) метеорологической величины называется ее *значением*.

Например, атмосферное давление – это вес вышележащего столба воздуха с единичным сечением, простирающегося до внешних пределов атмосферы, действующий на единицу поверхности. Измеряется в миллибарах (мб) или миллиметрах ртутного столба (мм. рт. ст.). Температура воздуха выражается в градусах Цельсия  $^{\circ}\text{C}$ . Градус температурной шкалы Цельсия составляет 1/100 интервала между точками таяния льда ( $0^{\circ}\text{C}$ ) и кипения воды ( $100^{\circ}\text{C}$ ). Метеорологическая дальность видимости (МДВ) – наибольшее расстояние, на котором в светлое время суток можно различать на фоне неба черный объект угловых размеров  $0,3^{\circ}$  и более (около 15 угловых минут).

Изменение метеорологической величины в течение суток называется *суточным ходом*, в течение года — *годовым ходом*. Суточный ход характеризуется изменением часовых значений величины, временем наступления максимальных и минимальных значений и амплитудой; Средние за многолетний период (не менее 30 лет) значения метеорологической величины называют *нормой*.

*Атмосферные явления* — это туманы, дымка, мгла, грозы, бури, шквалы, метели, заморозки, роса, иней, зарница, гололед, полярные сияния. Их интенсивность определяется с помощью терминов «слабый, умеренный, сильный», или через метеорологические величины, например: туман с дальностью видимости 500 м. Туман – это взвешенная в воздухе система капель воды или ледяных кристаллов у поверхности земли с МДВ менее 1 км. Мгла – это взвешенные в воздухе частицы пыли, дыма, гари. Роса – осадок в виде мельчайших капелек воды. Иней – белый кристаллический осадок, образующийся на поверхности земли и предметах, когда температура меньше  $1^{\circ}\text{C}$ . Зарница – отдаленная молния без грома.

Непрерывно изменяющееся физическое состояние атмосферы в данный момент или за некоторый конкретный промежуток времени у земной

поверхности, а также и в более высоких слоях называется *погодой*. Погода характеризуется совокупностью значений метеорологических величин, а также атмосферными явлениями, которые наблюдаются в это время. Погода за промежуток времени (сутки, декаду, месяц, год и др.) определяется средними, максимальными и минимальными значениями метеорологических величин, отклонениями их от нормы, характером и особенностями изменения на протяжении рассматриваемого периода.

Средний за многолетний период времени режим погоды, характерный для данной местности и обусловленный ее географическим положением, называется *климатом*. Количественными характеристиками климата являются среднемноголетние и предельные значения метеорологических величин и характер изменения их на протяжении года. Климат любого места на земном шаре определяется особенностями протекания в данном месте трех основных *климатообразующих процессов* - теплооборота, влагооборота и общей циркуляции атмосферы.

Закономерности изменения по земной поверхности метеорологических величин изучают с помощью географических карт, на которых изолиниями показывают, как распределяются эти величины в пространстве. Карты, на которые наносятся фактические данные наблюдений, полученные в разных местах в один и тот же момент времени, называются *синоптическими*. Они позволяют видеть, какой была погода в это время на обширных пространствах. Карты, на которые наносятся среднемноголетние значения метеорологических величин, называются *климатологическими*. Они позволяют выявить закономерности распределения этих величин по земному шару. Процессы, протекающие в атмосфере и на земной поверхности, теснейшим образом взаимосвязаны между собой, поэтому земную поверхность в метеорологии и климатологии называют *подстилающей, или деятельной поверхностью*.

### **Методы исследований и система получения информации**

В метеорологических исследованиях наиболее широко используются 3 метода – наблюдений, экспериментов, статистического и физико-математического анализа. Основным из них является *метод наблюдений* в

естественных условиях. Что бы получить сравнимые материалы, наблюдения проводят в единые сроки по гринвичскому времени, стандартными приборами, по одинаковым методикам.

*Метод экспериментов* заключается в проведении различных опытов по моделированию физических процессов в облаках, по рассеиванию облаков и туманов, по вызыванию осадков в естественных и лабораторных условиях.

*Физико-математический* метод в настоящее время приобретает все большее значение. Базируется он на законах физики с применением математических методов, что позволяет создавать сложнейшие модели атмосферных процессов, представляющих собой систему дифференциальных уравнений.

*Система получения* гидрометеорологической и гелиофизической и информации о состоянии ОС Росгидромета подразделяются на *наземную* и космическую подсистемы. Наземная подсистема представляет собой сеть из нескольких тысяч метеорологических станций и обсерваторий, ведущих круглосуточные наблюдения (обычно 8 раз в сутки) и еще более многочисленной сети постов по сокращенным программам. На океанах, морях и в труднодоступных районах суши установлено несколько сотен автоматических радиометеорологических станций. Более сотни аэрологических станций действуют в Антарктиде. На акватории морей и океанов используют для наблюдений специальные суда и суда торгового и рыболовного флотов. В наземную подсистему входит, кроме того, сеть разнообразных лабораторий, специализированных станций и постов, работающих по особым программам: гидрологические станции и посты, аэрологические станции (ведущие наблюдения за слоями атмосферы до высоты 40 км), морские и океанические, радиолокационные, лесные и полевые станции, агрометеорологические станции и посты и др. Метеорологическая ракета – это беспилотная ракета, совершающая полет по баллистической траектории в верхних слоях атмосферы с исследовательскими целями. Ракеты с высотой полета более 100 км обычно называют геофизическими. Метеорологические ракеты по сей день остаются практически единственным способом непосредственного (не дистанционного) изучения слоев атмосферы на высоте от 40 до 100 км.

Плотность пунктов метеорологических наблюдений в России составляет 1 пункт на 9,4 тыс.км<sup>2</sup> (в 1992 г – на 8,8 тыс.км<sup>2</sup>), что явно недостаточно. Для сравнения, в США 1 пункт приходится на 0,9 тыс.км<sup>2</sup>, в Китае – на 2,6, во Франции – на 3,6 тыс.км<sup>2</sup>.

Каждая метеорологическая станция (а их на Земном шаре насчитывается около 10 тыс. опорных, из которых 8500 в северном полушарии, 40 тыс. обычных и 140 тыс. метеорологических постов) имеет пятизначный индексный номер, включающий номер "Большого Района" и собственно номер станции в его пределах. Границами Больших районов служат параллели и меридианы, либо государственные границы, например, Монголия имеет номер Большого района 44, Япония - 47, Сахалинская область - 32, Приморский край – 31, Хабаровский край, ЕАО и Амурская область -25. Приземных метеорологических станций в количественном отношении значительно больше, чем аэрологических. Лишь 10% станций зондируют атмосферу до высот 30-40 км, 1% - до 100 км (с помощью метеорологических ракет). Из этих станций 10 % аэрологических станций, половина расположена между 30 и 50 °с.ш. Между 10 °ю.ш. и 10 °с.ш., где расположено 35% площади планеты, находится лишь 5% аэрологических станций.

Часть станций (около 8000 станций) относят к опорным. Как правило, это длиннорядные репрезентативные (от франц. *representatif* - показательный) станции. Они передают информацию в международном масштабе, образуя международную метеорологическую сеть.

Метеорологическая станция должна располагаться в месте, удовлетворяющем требованиям в отношении рельефа местности, близости зданий и населённых пунктов. Типы метеорологических приборов, правила их установки, порядок наблюдений, особенности их обработки предусмотрены специальными наставлениями и руководствами. В России метеорологические станции делятся на 3 разряда.

Метеорологические станции 1 разряда, кроме круглосуточных наблюдений за погодой и обработки информации, осуществляют техническое руководство работой прикрепленных к ним метеорологических станций 2 и 3 разрядов и метеорологических постов. Кроме этого, на метеорологические станции 1 разряда

возложено гидрометеорологическое обслуживание заинтересованных организаций.

В обязанности метеорологических станций 2 разряда входят круглосуточные наблюдения за погодой и передача информации.

Метеорологические станции 3 разряда производят наблюдения по сокращённой программе и в меньшее число сроков.

Кроме метеостанций, в метеосеть входят метеопосты, на которых проводятся наблюдения только за осадками и снежным покровом. В обсерваториях и на специальных станциях проводятся измерения экологических величин: содержание в воздухе пыли, химических и радиоактивных примесей. На современном этапе технического прогресса в метеорологии стали применять лазеры, спектрометры, а для обработки метеоинформации — компьютеры. Компьютерная техника широко применяется и при составлении синоптических карт. На практике применяются полуавтоматические (ПОСТ-1, ПОСТ-2, АСКЗА) и автоматические метеопосты, не требующие участия человека в измерениях. Метеонаблюдения должны быть длительными и непрерывными и проводиться строго в соответствии с международными стандартами. Измерения метеопараметров для сравнимости во всем мире проводятся одновременно (т. е. синхронно): в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21ч по Гринвичскому времени (времени нулевого, Гринвичского, меридиана). Это так называемые синоптические сроки. Результаты измерений немедленно передаются в службу погоды по компьютерной связи, телефону, телеграфу или радио. Там составляются синоптические карты и разрабатываются метеопрогнозы. Некоторые метеорологические измерения проводятся в собственные сроки: количество осадков измеряется четыре раза в сутки, высота снежного покрова - один раз в сутки, плотность снега - один раз в пять-десять дней. При проведении метеоизмерений на судах каждый раз отмечаются координаты корабля.

Для наблюдения за дождем, снегом и градом используют *метеорадары*. Они позволяют определить место и интенсивность выпадения осадков. Радары испускают радиоволны, которые, ударяясь о дождевые капли, отражаются от них и возвращаются на приемную антенну, затем преобразуются в изображение.

Для решения проблемы развития системы наземных метеорологических наблюдений необходимо увеличить плотность государственной наблюдательной сети путем доведения количества имеющихся сегодня пунктов метеорологических наблюдений (1691 единица) до минимально необходимого количества - 2300 единиц, из которых 600 - автоматические метеорологические станции. Планируется, что общее количество пунктов метеорологических наблюдений на территории России к 2030 году составит 5400 единиц, индекс плотности пунктов наблюдения метеорологической сети на всей территории страны составит 3,5, что близко к рекомендованному ВМО показателю.

Дистанционное зондирование Земли – это наблюдение авиационными и космическими средствами, оснащенными различными видами съемочной литературы.

*Космическая* подсистема «Метеор» включает 2-3 спутника, обращающихся по круговым орбитам на высоте около 900 км, и наземные пункты приема информации. Современное оборудование и приборы на спутниках позволяют очень быстро получить сведения о состоянии атмосферы, поверхности суши, океанов по всей планете, в том числе информацию о распределении облачности на дневной и ночной сторонах Земли. Поступает информация о перемещении циклонов и антициклонов, состоянии лесов и сельскохозяйственных культур, возникновении и развитии лесных пожаров и очагов повреждения лесов вредителями и др. Полученная информация синхронна по обширным пространственно-временным изменениям топографической оболочки.

Метеорологические наблюдения проводятся также космическими кораблями и орбитальными космическими станциями. Первые космические корабли Гагарина, Терешковой летали на высоте 200 км, сейчас на высоте 400-450 км, при этом высотное расположение регулируется с ЦУПа. Первое глобальное изображение Земли было получено искусственным спутником «Молния» с высоты 20-40 тыс.км

Количество информации, поступающей со спутников, огромно. За сутки 2 спутника «Метеор» передают на приемные пункты такой объем информации, какой поступает за полгода со всех наземных станций мира. Обработка такого объема информации возможна только с помощью компьютеров.

Для решения задачи восстановления российской космической наблюдательной системы предполагается осуществить:

- воссоздание и обеспечение непрерывного функционирования космической гидрометеорологической системы, состоящей из не менее чем 7 спутников (3 геостационарных метеорологических спутника серии "Электро", 3 полярно-орбитальных спутника серии "Метеор" и 1 океанографический спутник);

- создание и обеспечение непрерывного функционирования космической системы "Арктика" (2 метеорологических спутника типа "Молния" - на высокоэллиптических орбитах и не менее чем 2 спутника "Молния" - на низких полярных орбитах);

- создание бортовых информационных приборов, необходимых для решения задач гидрометеорологии, океанографии, мониторинга состояния окружающей среды и климатических изменений.

Спутниковая информация оказалась особенно полезной в двух сферах исследований. Во-первых, существуют обширные районы Земли, из которых метеорологическая информация, полученная обычными средствами, поступает очень редко. При проведении метеорологических наблюдений используют обширный арсенал технических средств. Широкое применение в настоящее время получили радиолокаторы (радары), с помощью которых проводят наблюдения за развитием, свойствами и движением облаков, за грозами и образованием градовых очагов в радиусе до нескольких сотен километров от пункта наблюдений.

Для производства наблюдений на небольших высотах используют здания, телевизионные мачты и башни, горные обсерватории и станции. Для исследований и наблюдений в более высоких слоях применяют радиозонды (наполненный водородом резиновый шар, поднимающий комплект компактных приборов и радиопередающее устройство). Радиозонды во время подъема в автоматическом режиме производят измерения и передают информацию по радио на пункты приема. Широко используют также самолетное, вертолетное, аэростатное и ракетное зондирование с помощью метеорологических (до высоты 100 км) и геофизических (до высоты 400 км) ракет. Ракеты поднимают контейнеры с метеорологическими приборами, которые ведут измерения во время спуска контейнера, сначала свободного, а затем на раскрывающемся парашюте.

Региональные и мировые центры обрабатывают также зарубежную и космическую информацию. Центры и другие крупные подразделения связаны с системой автоматической передачи данных «Погода», осуществляющей передачу информации с большой скоростью. Обработанная информация в виде метеорологических бюллетеней, прогнозов, сводок погоды и др. рассылается потребителям по почте, компьютерным сетям или передается по радио и телевизионным каналам.

Вся гидрометеорологическая служба в СНГ находится в ведении Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Методическое руководство наземной и космической системами наблюдений и научно-исследовательские работы выполняют Гидрометцентр России, региональные гидрометеоцентры, специальные научно-исследовательские институты и обсерватории, крупнейшими из которых являются Главная геофизическая обсерватория (ГГО) им. А.И. Воейкова, Центральная аэрологическая обсерватория, Российский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации, Институт физики атмосферы РАН, а также Институт глобального климата и экологии.

### **Контрольные вопросы**

1. *Определение, цели, задачи и объект науки «метеорология»*
2. *Научные и прикладные разделы метеорологии*
3. *Наука климатология и понятие «климат», «погода»*
4. *Метеорологические величины. Атмосферные явления*
5. *Методы исследования в метеорологии*
6. *Синоптические и метеорологические карты. Подстилающая поверхность*
7. *Основные этапы развития метеорологии*
8. *Наземная подсистема получения информации*
9. *Космическая подсистема получения информации*
10. *Исследования средних и высоких слоев атмосферы*
11. *Обработка метеонаблюдений и потребители метеоинформации*
12. *Руководство системой наблюдений. ГГО*
13. *Методы передачи метеоинформации.*
14. *Международное сотрудничество. ВМО. ВСП. ПИГАП*

### **Строение и состав атмосферы**

Воздушная оболочка Земли возникла в результате выделения газов при извержении проявлении магматизма. С появлением океанов и биосферы она



формируется за счет газообмена с водой, растениями, животными и продуктами их разложения в почвах и болотах. Высота атмосферы равна приблизительно 2 тыс.км.

По своим физическим свойствам и происходящим процессам атмосфера очень неоднородна как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Существует несколько классификаций вертикального строения атмосферы, использующиеся в зависимости от конкретных целей. Наиболее распространенная классификация по характеру изменения температуры воздуха с высотой. По этому признаку атмосферу делят на пять основных слоев или сфер: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, экзосфера. Основные атмосферные слои разделяются переходными слоями относительно небольшой вертикальной протяженности: тропопауза, стратопауза, мезопауза и термопауза.

Самым нижним слоем, прилегающим к подстилающей поверхности, является *тропосфера* (*переменная оболочка, греч. «tropos»-поворот*). Тропосфера нагревается снизу от Земли, которая в свою очередь нагревается солнечными лучами. Непосредственный нагрев воздуха за счет поглощения им солнечных лучей в десятки раз меньше. С высотой нагрев уменьшается. Этому способствует охлаждение и расширение поднимающегося воздуха, а препятствует выделение тепла при конденсации водяных паров. Отличительный ее признак – понижение температуры с высотой со средним градиентом  $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м высоты. В тропосфере имеют место восходящие и нисходящие движения воздуха, создающее вертикальное перемещение воздушных масс. Оно определяет высоту тропосферы, распределение в ней тепла и относительно неизменный состав воздуха во всей толще тропосферы.

Высота, до которой простирается тропосфера, изменяется довольно значительно в зависимости от широты места, сезона года и других причин. В средних и умеренных широтах высота тропосферы равна 11 км. Наименьшие высоты наблюдаются в полярных районах – около 9 км, наибольшие – над экватором – до 18 км. На протяжении года наибольшие высоты до 15 км отмечаются летом, наименьшие – зимой, в отдельные годы она может опускаться до 6-7 км. Воздух тропосферы нагрет неравномерно. Над экватором среднегодовая температура находится в пределах  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в полярных областях  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовая температура на верхней границе

тропосферы составляет примерно  $-55^{\circ}\text{C}$  в умеренных широтах. В тропосфере сосредоточено около 80 % массы атмосферы и почти весь водяной пар. Поэтому в ней происходят процессы конденсации и образования облаков. Над тропосферой, до высоты примерно 50 км, простирается *стратосфера* (*слоистая оболочка*), в которой по-другому изменяется температура с высотой. На долю стратосферы приходится около 20 % массы атмосферы. Между тропосферой и стратосферой располагается переходный слой толщиной от несколько сот метров до 1-2 км, называемый *тропопаузой*. В ней температура перестает падать и даже возрастает. Явление прекращения падения температуры с высотой называется *изотермией*. Возрастание температуры с высотой называется *инверсией*.

В нижней части стратосферы с 11 км до высоты 25 км температура с высотой не изменяется и даже растет. Большую роль в повышении температур играет слой озона. Озон сконцентрирован преимущественно на высоте 22-25 км, он образуется и в нижних частях тропосферы. Абсолютное количество этого газа невелико: слой озона, опущенный на землю, при нормальном давлении воздуха около поверхности имел бы толщину школьной тетради – 3 мм. Выше этого уровня температура с увеличением высоты быстро растет и на верхней границе стратосферы близка к нулю. Достигнув высоты около 40 км, температура устанавливается около  $0^{\circ}\text{C}$  или 273 К и остается такой до высоты 55 км. Эта область постоянной температуры называется стратопаузой. Влажность в стратосфере небольшая, процессы конденсации водяного пара не происходят, и облака не образуются.

Выше стратосферы, до высоты приблизительно 70 - 90 км, расположена *мезосфера* (*средняя оболочка*), для которой характерно быстрое понижение температуры с высотой с градиентом примерно  $0,35^{\circ}\text{C}$  на 100м и очень низкие температуры воздуха вблизи верхней границы –  $90^{\circ}\text{C}$ . Самые низкие значения составили  $-110^{\circ}\text{C}$ . На долю стратосферы приходится не более 0,3 % массы атмосферы. Линия Кармана – в соответствии с определением ФАИ линия находится на высоте 100 км над у.м. Принято считать, что граница атмосферы Земли и ионосферы находится на высоте 118 км. Это показывает анализ параметров движения высокоэнергетических частиц, перемещающихся в атмосфере и ионосфере.

В вышележащей сфере – в *термосфере* (тепловая оболочка) вновь наблюдается рост температуры с высотой до высоты 200-300 м до 1000 -

1500<sup>0</sup>С, особенно в годы активного Солнца, после чего остается почти постоянной. На долю стратосферы приходится менее 0,05 % массы атмосферы. В периоды низкой активности Солнца верхняя граница термосферы значительно уменьшается. Рост происходит, главным образом, за счет поглощения некоторой частью ультрафиолетовой радиации кислородом. Термосфера простирается до высоты 450 км (по разным оценкам до 800-900). Высокие температуры в данном случае характеризуют только очень большие скорости и большую кинетическую энергию движущихся частиц газов. Однако воздух на высоте термосферы настолько разрежен, что инородные тела, в т. ч. и космические корабли не могут нагреться и сгореть.

Внешний слой - *экзосфера* простирается до верхних границ атмосферы, где постепенно переходит в космическое пространство. Поэтому экзосферу еще называют сферой рассеивания. Высоту атмосферы устанавливают весьма условно. Наблюдениями установлено наличие атмосферных газов, в основном водорода, на высотах более 20 тыс. км. Как и в термосфере, в экзосфере высокие температуры воздуха и он еще больше разрежен. Отдельные частицы газов движутся с громадными скоростями и проходят большие расстояния, не сталкиваясь друг с другом. Некоторые из частиц движутся на сверхскоростях, могут преодолевать земное притяжение и ускользать в межпланетное пространство. Наблюдается и обратный процесс - поступление частиц газов из межпланетного пространства в атмосферу.

Кроме этих пяти слоев, в области верхней атмосферы различают слой, характеризующийся большой электропроводностью воздуха. В нем, наряду с нейтральными молекулами и атомами, находится значительное количество ионизированных молекул и атомов атмосферных газов и свободных заряженных частиц - электронов и протонов. Эту ионизированную область называют *ионосферой*. Нижняя граница ее располагается на высоте около 60-80 км, верхняя распространяется до предела атмосферы. Степень ионизации ионосферы неодинакова. Она скачкообразно меняется и оказывает большое влияние на распространение радиоволн, отражая их к земной поверхности. Процессы ионизации наиболее интенсивно развиты на высотах 220 - 400 км. В периоды высокой активности Солнца возникают ионосферные бури, сопровождаемые магнитными бурями, что ведет к изменению отражающих свойств ионосферы, и, как следствие, к ослаблению или прекращению связи.

Состав верхних слоев атмосферы может меняться в зависимости от активности Солнца. В 1957-1958 гг в момент усиления активности Солнца на высотах 900-1000 км преобладали ионы кислорода, а в 1964 г в период спокойного Солнца с высоты 1000 км атмосфера почти на 100 % состояла из ионов водорода. Эти данные говорят о том, что ионосфера по своей природе среда изменчивая и беспокойная.

Физиологические свойства атмосферы также неоднородны. Уже на высоте 5 км над у.м. появляется кислородное голодание и без адаптации работоспособность человека значительно снижается. Здесь кончается физиологическая зона атмосферы. Дыхание человека становится невозможным на высоте 15 км, хотя примерно до 115 км атмосфера содержит кислород. Атмосфера снабжает нас необходимым для дыхания кислородом. Однако вследствие падения общего давления атмосферы по мере подъёма на высоту соответственно снижается и парциальное давление кислорода. В лёгких человека постоянно содержится около 3 л альвеолярного воздуха. Парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе при нормальном атмосферном давлении составляет 110 мм рт. ст., давление углекислого газа -40 мм рт. ст., а паров воды -47 мм рт. ст. С увеличением высоты давление кислорода падает, а суммарное давление паров воды и углекислоты в лёгких остаётся почти постоянным - около 87 мм рт. ст. Поступление кислорода в лёгкие полностью прекратится, когда давление окружающего воздуха станет равным этой величине. На высоте около 19-20 км давление атмосферы снижается до 47 мм ртутного столба. Поэтому на данной высоте начинается кипение воды и межтканевой жидкости в организме человека. Вне герметической кабины на этих высотах смерть наступает почти мгновенно. Таким образом, с точки зрения физиологии человека, «космос» начинается уже на высоте 15-19 км

Космическое пространство находится за пределами земной атмосферы. Верхняя граница околоземного (наиболее освоенного человечеством) космического пространства обусловлена преимущественным влиянием гравитационного поля Земли и простирается до 930 тыс. км. Нижняя граница определяется минимальным перигеем движения по орбите искусственного спутника Земли и составляет около 100 км над уровнем океана. Эту высоту по решению Международной авиационной федерации (ФАИ) принято считать границей между

воздушным и космическим пространствами. Эта высота соответствует минимальному перигею искусственного спутника Земли.

Атмосферный воздух представляет собой механическую смесь различных газов. Содержание газов в воздухе принято выражать в процентах к объему чистого и сухого воздуха. В газовом составе сухого воздуха содержится: молекулярный азот – 78, 08 %, кислород - 20, 95 %, аргон – 0, 93 %, углекислый газ – 0, 033 %. Остальные газы находятся в очень малых количествах – от тысячных до миллионных долей процента (табл.1).

Таблица 1

## Состав воздуха

Элемент	Обозначение	По объёму, %	По массе, %
Азот	N <sub>2</sub>	78,084	75,50
Кислород	O <sub>2</sub>	20,9476	23,15
Углекислый газ	CO <sub>2</sub>	0,0314	0,046
Неон	Ne	0,001818	0,0014
Метан	CH <sub>4</sub>	0,0002	0,000084
Гелий	He	0,000524	0,000073
Криптон	Kr	0,000114	0,003
Водород	H <sub>2</sub>	0,00005	0,00008
Ксенон	Xe	0,0000087	0,00004

*Азот*, преобладающий в приземном воздухе, в метеорологических процессах очень инертен. Имеется несколько точек зрения на его происхождение – от образования азота в момент зарождения Земли, до его органического происхождения при бактериальном брожении белковых веществ.

*Кислород* атмосферы обеспечивает дыхание живых организмов, процессы горения. Весь кислород атмосферы имеет биогенное происхождение. Он поступает в атмосферу в результате фотосинтеза зеленых растений и морского планктона. Он участвует во многочисленных реакциях, обеспечивает ход биохимических и геологических процессов, вызывая окисление и восстановление минералов. Как уменьшение, так и увеличение содержания кислорода привело бы к губительным для большинства организмов последствиям – в первом случае в результате замедления биологических процессов, а во втором – по причине их

слишком быстрого и энергичного течения, и, следовательно, сгорания органического вещества. Расход кислорода в связи с развитием промышленности и увеличением объемов сжигаемого топлива растет.

*Углекислый газ* попадает в атмосферу из почвы, в составе вулканических газов и лесных пожаров, из минеральных источников и как продукт жизнедеятельности организмов. Несмотря на небольшое процентное содержание углекислого газа, в жизни Земли он играет не меньшую роль, чем кислород. Он удерживает солнечное тепло в атмосфере, участвует в образовании минералов, горных пород и почв, обеспечивает развитие растительного мира Земли. Для растений современное содержание углекислого газа в атмосфере не является оптимальным, так как при повышении концентрации его в воздухе в несколько раз интенсивность фотосинтеза и продуктивность растений возрастают. Но и очень высокие концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе (более 1 %) вредны для растений.

Огромное значение для атмосферных процессов и биосферы Земли имеет *озон*. В приземном воздухе содержание его ничтожно, с высотой оно увеличивается. В реальной атмосфере этот слой испытывает большие пространственные и временные колебания. Стратосферный озон образуется в результате фотохимических реакций, протекающих под действием ультрафиолетовой радиации. В тропосфере большая часть озона поступает из стратосферы при вертикальном перемешивании воздуха. Однако в очень небольших количествах озон может образовываться и в тропосфере: при грозовых разрядах, окислении компонентов живицы, фотохимических реакциях в смеси выхлопных газов автомашин (при фотохимическом смоге). Стратосферный озон защищает живые организмы на Земле от губительного влияния ультрафиолетовой радиации.

*Водяные пары* составляют около 4 % всей массы атмосферы и их роль в атмосферных процессах чрезвычайно велика. Они сильно поглощают длинноволновую радиацию, благодаря чему повышается температура земной поверхности и воздуха в тропосфере. На испарение воды с земной поверхности расходуется большая часть энергии радиационного баланса. При конденсации водяного пара соответствующее количество энергии отдается воздуху и нагревает его. Присутствие водяного пара существенно изменяет физические свойства воздуха (теплоемкость, теплопроводность,

прозрачность для радиации и др.), что влияет на ход многих атмосферных процессов. С водяным паром и его фазовыми переходами в атмосфере связаны процессы формирования погоды и климата.

Ежегодно над материками выпадает около 107 тыс. км<sup>3</sup> воды, а над океанами 410 тыс. км<sup>3</sup>. Количество осадков и определяется толщиной слоя воды, который мог бы образоваться, если бы жидкие осадки не впитывались в почву и не испарялись, а оставались бы на ее поверхности. Самая влажная зона экваториальная с годовой суммой осадков более 2000 мм. К ней относятся бассейны рек Амазонка и Конго. Здесь располагаются влажные экваториальные леса с богатым типом растительности – более 50 тысяч видов. Самыми дождливыми районами земного шара являются Гавайские острова (Тихий океан) и район Черрапунджи (Индия). В последнем ежегодно выпадает столько воды, что на один гектар земли ее приходится 12,5 млн. ведер (15 000 мм в год). В сухой зоне тропического пояса, в пустынях выпадает осадков менее 200 мм в год. Наиболее засушливые области пустынь – Африка (Сахара). Бывают случаи, когда на протяжении нескольких лет подряд не выпадает ни одной капли дождя. Минимальное количество осадков 0,8 мм в год отмечается в пустыне Атакама (Чили, Южная Америка).

### **Контрольные вопросы**

1. Деление атмосферы по температурному признаку
2. Характеристика тропосферы
3. Характеристика стратосферы и мезосферы
4. Характеристика термосферы и экзосферы
5. Состав атмосферного воздуха. Свойства кислорода и озона.
6. Поступление и расход азота

### **Радиационный режим атмосферы и земной поверхности**

*Прямая солнечная радиация* — радиации (S), поступающая к земной поверхности непосредственно от Солнца в виде пучка параллельных лучей. Потоки прямой солнечной радиации как на перпендикулярную к лучам поверхность, так и на горизонтальную зависят одновременно от многих факторов, поэтому энергетическая освещенность и спектральный состав их в широких пределах изменяются в пространстве и во времени. Поток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность часто называют

*инсоляцией*. Он значительно меньше потока прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность, особенно при малых высотах Солнца. Наибольшее влияние на потоки прямой радиации, оказывают высота Солнца, от которой зависит оптическая масса, и прозрачность атмосферы. Изменение этих факторов во времени обуславливает характерный для прямой радиации суточный и годовой ход.

*В суточном ходе* (при ясной погоде) поток прямой радиации после восхода Солнца сначала быстро, а затем все медленнее увеличивается, достигает максимума незадолго до местного полудня, после чего медленно, а потом все быстрее убывает до захода Солнца. Сильное влияние на поток прямой солнечной радиации оказывает облачность. Легкие и прозрачные облака несколько ослабляют его, плотные облака нижнего яруса не пропускают прямую радиацию совсем (отражают и поглощают ее).

*В годовом ходе* минимальные значения энергетической освещенности прямой радиацией приходится на декабрь, когда высоты Солнца наименьшие, максимальные же значения приходится не на летние, а на весенние месяцы (апрель, май). Объясняется это тем, что в летние месяцы, хотя высоты Солнца и наибольшие, но в воздухе содержится намного больше водяного пара и пыли и прозрачность атмосферы меньше, чем весной. Самые большие амплитуды в годовом ходе энергетической освещенности прямой радиацией наблюдаются в полярных районах; по направлению к низким широтам они уменьшаются и достигают минимума на экваторе.

Спектральный состав прямой солнечной радиации у земной поверхности непостоянен, он существенно отличается от спектрального состава ее на границе атмосферы. В спектре прямой радиации у земной отраженной радиации проходит атмосферу насквозь и уходит в мировое пространство, однако некоторая доля его в атмосфере рассеивается и частично возвращается на земную поверхность, усиливая рассеянную радиацию, а следовательно, и суммарную радиацию.

Отражательная способность различных поверхностей называется *альбедо*. Оно представляет собой отношение потока отраженной радиации ко всему потоку суммарной радиации, падающему на данную поверхность:  $A = R/Q$ . Выражается альбедо в долях единицы или в процентах. Таким образом, земной поверхностью отражается часть потока суммарной радиации, равная  $QA$ , а часть поглощается и превращается в тепло —  $Q(1 -$



А). Последняя величина называется *поглощенной радиацией*, или *балансом коротковолновой радиации (Вк)*. Альbedo различных поверхностей суши зависит главным образом от цвета и шероховатости этих поверхностей. Темные и шероховатые поверхности имеют меньшие альbedo, чем светлые и гладкие (табл.2). Альbedo почв уменьшается с возрастанием влажности, так как цвет их при этом становится более темным.

Таблица 2

Альbedo поверхности суши, %

Поверхность	Альbedo, %	Поверхность	Альbedo, %
Сухой свежий снег	80-95	Луга	10-15
Загрязненный снег	40-50	Поля пшеницы	10-25
Темные почвы	5-15	Хвойные леса	10-15
Сухие песчаные почвы	25-45	Лиственные леса	15-20

Альbedo водных поверхностей в среднем меньше, чем альbedo поверхности суши, и оно очень сильно зависит от высоты Солнца. В умеренных и высоких широтах альbedo сильно изменяется в годовом ходе, так как из-за образования снежного покрова зимой оно значительно больше (50-80 %), чем летом. Отношение уходящей в космическое пространство отраженной и рассеянной радиации ко всему потоку солнечной радиации, поступающего в атмосферу, называют *планетарным альbedo Земли*. В среднем оно около 30 %, причем большая часть его обусловлена отражением солнечной радиации облаками.

Земная поверхность и атмосфера, нагреваясь за счет поглощения радиации и процессов нерадиационного теплообмена, являются мощными источниками длинноволновой радиации. Температуры земной поверхности и атмосферы сравнительно невелики. Средняя температура земной поверхности около 15 °С.

Поток излучения земной поверхности, поступающий в атмосферу, почти полностью поглощается в ней главным образом водяным паром. В значительно меньшей степени это излучение поглощается углекислым газом и озоном. В целом, однако, доля энергии, поглощаемая этими газами, очень невелика из-за малого содержания их в атмосфере. Очень большое влияние на поглощение излучения земной поверхности оказывает облачность.

Облака, даже небольшой мощности, практически полностью поглощают инфракрасную радиацию. Встречное излучение атмосферы полностью поглощается земной поверхностью, что в значительной мере компенсирует потерю энергии и охлаждение последней за счет собственного излучения.

Разность между излучением земной поверхности и встречным излучением атмосферы называется *эффективным излучением* ( $E_3$ ). Встречное излучение обычно меньше земного излучения, следовательно, за счет эффективного излучения земная поверхность теряет энергию.

Международная конференции «Оценка влияния углекислого газа и других парниковых газов на изменение климата и связанные с ним последствия», состоявшаяся в Австрии в 1985 г., пришла к заключению, что за последние 100 лет средняя глобальная температура воздуха за счет возрастания концентрации углекислого газа повысилась на 0,3-0,7°C, ожидаемое повышение температуры при удвоении его концентрации оценивается в 1,5-4,5 °C. С учетом влияния других газов такое повышение глобальной температуры может ожидать уже к 2030 г.

*Радиационный баланс (B)* представляет собой разность между всеми потоками радиации, приходящими на земную поверхность и уходящими от нее. Иными словами, это *разность* между поглощенной радиацией и эффективным излучением. Значение его показывает, сколько энергии получает или отдает земная поверхность в данном месте радиационном путем в определенный момент времени (в секунду) или за определенный период времени (сутки, месяц, год и др.). Приходная часть радиационного баланса состоит из прямой (S), рассеянной (D) радиации и встречного излучения атмосферы ( $E_a$ ), расходная часть — из отраженной радиации (K) и излучения земной поверхности ( $E^{\wedge}$ ). Уравнение радиационного баланса земной поверхности можно записать в виде

$$B = S' + D - R + E \text{ или } B = Q(1 - A) - E$$

где  $Q$  — суммарная радиация,  $A$  — альбедо,  $E_3$  — эффективное излучение.

На материках наибольший радиационный баланс наблюдается в районах с небольшой облачностью и большой влажностью (экваториальная Африка, устье р. Амазонки, п-ов Индостан). Минимальные значения радиационного баланса в тропических широтах характерны для

малооблачных, но очень сухих районов тропических пустынь и для районов с большой плотной облачностью

Фотосинтетически активной радиацией (ФАР) называется часть потока суммарной радиации, которая может использоваться зелеными растениями при фотосинтезе. Это весьма узкая область спектра солнечной радиации в пределах длин волн от 0,38 до 0,71 мкм. Лучистая энергия этой радиации является источником энергии для всех фотохимических процессов в растениях и используется ими как для фотосинтеза, так и для регуляции многообразных фотофизиологических процессов. В потоке суммарной радиации доля ФАР составляет в среднем около 50 %. Причем в рассеянной радиации эта доля несколько больше - 60 %, а в прямой — меньше 40 %. Поток ФАР изменяется во времени и в пространстве.

#### **Антициклоны и циклоны**

Антициклоны — громадные атмосферные вихри, закручивающиеся по часовой стрелке. В центральной части их происходит опускание громадных объемов воздуха, а у земной поверхности воздух оттекает к периферии. Опускающийся воздух попадает в слои атмосферы с возрастающим давлением, вследствие чего воздух сжимается и одновременно растекается в стороны, не достигая земной поверхности.

Тропический циклон - это огромный атмосферный вихрь диаметром от 100 до 1600 км, сопровождающийся сильными разрушительными ветрами, ливневыми дождями и высокими нагонами (повышением уровня моря под воздействием ветра). Зародившиеся тропические циклоны обычно движутся на запад, несколько отклоняясь к северу, с возрастающей скоростью перемещения и увеличиваясь в размерах. После движения в направлении полюса тропический циклон может «развернуться», влиться в западный перенос умеренных широт и начать двигаться на восток (однако такая смена направления движения происходит не всегда).

По международному соглашению, тропические циклоны классифицируют в зависимости от силы ветра. Выделяют тропические депрессии со скоростью ветра до 63 км/ч, тропические штормы (скорость

ветра от 64 до 119 км/ч) и тропические ураганы, или тайфуны (скорость ветра более 120 км/ч).

В некоторых районах земного шара тропические циклоны имеют местные названия: в Северной Атлантике и Мексиканском заливе - ураганы (на о. Гаити - тайно); в Тихом океане у западного побережья Мексики - кордонасо, в западных и большинстве южных районов - тайфуны, на Филиппинах - багуйо, или баруйо; в Австралии - вилли-вилли.

Инверсии оседания наблюдаются над обширными пространствами, особенно на обращенной к экватору периферии субтропических антициклонов. В последнем случае они являются главной причиной формирования сухих климатов в тропических зонах. *Инверсии турбулентности* возникают в результате интенсивного турбулентного перемешивания воздуха. Обычно такое перемешивание распространяется на слой воздуха до некоторой высоты, а выше располагается слой с резко ослабленной турбулентностью. В слое интенсивной турбулентности поднимающиеся порции воздуха адиабатически охлаждаются и понижают температуру в верхней части этого слоя. Эта часть обогащается также водяным паром и аэрозолями за счет переноса их от земной поверхности, что усиливает излучение воздуха и дополнительно охлаждает его. В слое ослабленной турбулентности температура повышается и возникает инверсия.

*Динамические инверсии* образуются в атмосфере, если на некоторой высоте возникает слой с большими скоростями ветра. Максимальные скорости его наблюдаются в средней части этого слоя, выше и ниже скорости ветра меньше. Поток с максимальными скоростями засасывает воздух из выше- и нижележащих слоев, развиваются нисходящие и восходящие движения воздуха, приводящие соответственно к его адиабатическому нагреванию и охлаждению. В результате в средней части слоя больших скоростей развивается инверсия. *Фронтальные инверсии* образуются на атмосферных фронтах, разделяющих теплые и холодные воздушные массы.

Туманы образуются при интенсивном испарении выпавших осадков в остывающий уже воздух, а также при испарении обильных осадков во время прохождения атмосферных фронтов. Над арктическими морями туманы испарения образуются над полярными и над открытыми водами у кромки льда при поступлении холодного воздуха с ледяного покрова. В

крупных городах, где в воздух выбрасывается очень много активных ядер конденсации, образуются *городские туманы*, которые могут развиваться при относительной влажности менее 100 % из-за большого содержания в городском воздухе очень активных ядер конденсации. Городские туманы содержат много примесей (дыма, сажи, пыли) и имеют более темную окраску, чем туманы в других местностях.

### **Облака. Классификация облаков. Активное воздействие на облака**

*Облаками* называют видимое скопление продуктов конденсации и сублимации водяного пара на некоторой высоте в атмосфере. Состоят облака из капель воды и кристаллов льда, которые принято называть *облачными элементами*. Обычно последние настолько малы и легки, что удерживаются в воздухе восходящими турбулентными и конвективными потоками и длительное время остаются во взвешенном состоянии, перемещаясь в различных направлениях.

В зависимости от состава облачных элементов облака делятся на три класса:

- *водяные*, состоящие только из капель. Наблюдаются они при положительных и небольших отрицательных температурах (до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); в последнем случае капли находятся в переохлажденном состоянии;
- *смешанные*, состоящие одновременно из смеси переохлажденных капель и ледяных кристаллов. Существуют они при умеренных отрицательных температурах от  $-10$  до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- *ледяные или кристаллические*, состоящие только из ледяных кристаллов, существующие при температурах ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Возникнув, облако не остается неизменным: в одних частях, особенно на периферии, где воздух не насыщен водяным паром, облачные элементы постоянно испаряются; в других, где при восходящих потоках воздуха интенсивно поступает водяной пар, образуются новые элементы. Следовательно, в одних местах облако постоянно образуется, в других тает. В пределах облака его элементы переносятся в вертикальном и горизонтальном направлениях турбулентными и конвективными токами, а само облако перемещается вместе с ветром. Длительность существования

облаков определяется временем, пока существуют благоприятные условия облакообразования, с исчезновением их облака быстро рассеиваются. Поэтому время существования отдельных облаков, например кучевых, очень непродолжительно (десятки минут).

Международная классификация облаков базируется на использовании морфологических признаков (внешнего вида) и высоты нижней границы (основания) облаков. В зависимости от высоты основания облаков выделяют 4 семейства, которые по морфологическим признакам делятся на 10 основных форм (родов).

А. Семейство облаков *верхнего* яруса (высота основания более 6 км): перистые — *Cirrus (Ci)*; перисто-кучевые — *Cirrocumulus (Cc)*; перисто-слоистые — *Cirrostratus (Cs)*.

Б. Семейство облаков *среднего* яруса (высота основания 2-6 км): высококучевые — *Alto cumulus (Ac)*', высокослоистые — *Altostratus (As)*.

В. Семейство облаков *нижнего* яруса (высота основания до 2 км): слоисто-кучевые — *Strato cumulus (Sc)*', слоистые — *Stratus (St)*; слоисто-дождевые — *Nimbostratus (Ns)*.

Г. Семейство облаков *вертикального* развития (сильно вытянуты по вертикали, основание их располагается в нижнем ярусе, а вершина в среднем или верхнем): кучевые — *Cumulus (Cu)*; кучево-дождевые - *Cumulonimbus (Cb)*.

*Облака верхнего яруса* - самые высокие в тропосфере. Образуются при очень низких температурах, состоят из ледяных кристаллов и поэтому имеют заметную волокнистую структуру. Это тонкие белые прозрачные облака, не образующие теней. Сквозь них хорошо просвечивают все небесные светила, и они почти не ослабляют солнечного света. *Перистые облака* выглядят в виде нитей, гряд, завитков и полос волокнистой структуры; *перисто-кучевые* состоят из отдельных мелких волн, ряби, мелких хлопьев или завитков; *перисто-слоистые* — прозрачная белесая вуаль, частично или полностью закрывающая небосвод.

*Облака среднего яруса* - более плотные, чем перистые, белого или сероватого цвета. *Высококучевые облака* состоят из облачных волн, гряд, отдельных пластин или хлопьев, расположенных упорядоченно и разделенных просветами голубого неба. *Высокослоистые облака* светло-серого цвета, слегка волокнистые, иногда со слабо выраженной

волнистостью. Обычно они образуют сплошную пелену, постепенно закрывающую все небо. Солнце и Луна просвечивают сквозь них в виде светлых размытых пятен, порою слабо различимых. Высококучевые облака состоят из мелких переохлажденных капель и осадков не образуют. Высокослоистые облака являются типичными смешанными облаками. В летнее время из них могут выпадать морозящие осадки, однако выпадающие капли мороси чаще испаряются во время падения, и не достигают земной поверхности. Зимой из них часто выпадает снег.

Облака *нижнего* яруса - самые низкие и плотные в тропосфере. *Слоисто-кучевые облака* состоят из гряд, валов, пластин или хлопьев, разделенных просветами или сливающимися в сплошной серый волнистый покров, местами более темный. Эти облака водяные и не дают осадков. *Слоистые облака* представляют собой однородный серый сплошной низкий слой, часто с клочковатой нижней поверхностью. Обычно они водяные, в верхней части изредка смешанные. Могут образовывать морозящие осадки в виде мелкого снега или дождя. *Слоисто-дождевые облака* — очень мощный (высотой в несколько километров) облачный слой темно-серого цвета, сплошь закрывающий небо. Под ними часто видны темные клочья низких разорванных облаков. По составу элементов слоисто-дождевые облака всегда смешанные, из них выпадает обложной дождь или снег. Большая часть осадков в сумме выпадает именно из этих облаков.

Облака *вертикального* развития - возникают при быстром вертикальном поднятии воздуха. *Кучевые облака* — отдельные, с резко очерченными контурами, плотные, развивающиеся по вертикали с куполообразными клубящимися белыми вершинами и более темными основаниями. Они состоят только из капель и осадков не дают. *Кучево-дождевые облака* образуются при дальнейшем развитии кучевых и представляют собой мощные кучевообразные массы, сильно развитые по вертикали, с приплюснутыми вершинами волокнистообразной структуры. Последние возникают при облещении верхней части облаков, обычно в этой части кучево-дождевые облака состоят из одних ледяных кристаллов, в средней и нижней частях — из кристаллов и капель разного размера, вплоть до самых крупных. При очень сильных морозах (зимой облака могут быть ледяными по всей высоте.) в верхней части кучево-дождевые облака белые, основания же их имеют темно-свинцовый мрачный цвет. Эти облака дают

осадки ливневого характера (дождь, снег, крупа и др.). С ними связаны грозы, смерчи, бури и град.

Степень покрытия неба облаками называется *облачностью*. Количественно ее характеризуют в баллах от 0 (чистое небо) до 10 (все небо покрыто облаками).

Полярные сияния - имеющее либо размытые (диффузные) формы, либо вид корон или занавесей (драпри), состоящих из многочисленных отдельных лучей. Спокойные дуги или полосы шириной в несколько десятков километров простираются с востока на запад на расстояния до 1000 км. Полосы могут сворачиваться, принимая спиральную или S-образную форму. Можно увидеть и лучи, идущие вдоль магнитного поля. Пятна полярных сияний - это отдельные светящиеся области неба без образования каких-либо форм. Самые мощные и высокие полярные сияния наблюдаются не только в северных и средних широтах, но даже в тропиках. Полярные сияния являются следствием вторжения в земную атмосферу заряженных частиц солнечного ветра - корпускул. Результаты фото- и радиолокационных наблюдений свидетельствуют, что активность полярных сияний подвержена как суточным, так и сезонным изменениям. Максимальная активность в течение суток отмечается около 23 часов, сезонный же пик активности приходится на дни равноденствия и близкие к ним временные интервалы (март - апрель и сентябрь - октябрь). Эти пики активности полярных сияний повторяются через относительно правильные промежутки, а продолжительность основных циклов составляет примерно 27 дней и около 11 лет.

В целях *активного воздействия* на облака и туманы для их рассеивания или вызывания осадков, а также для предотвращения града и сильных ливней используют химические реагенты, которые вносят в облака и туманы с помощью пиропатронов, артиллерийских снарядов, специальных ракет, аэрозольных генераторов и др.

В качестве реагентов используется чаще всего твердая углекислота (сухой лед), йодистое серебро (AgI) и йодистый свинец (PbI<sub>2</sub>). При введении в воздух размельченных частиц углекислоты, имеющих очень низкую температуру (температура кипения углекислоты - 78,9°C), происходит испарение этих частиц, вследствие чего воздух на некотором расстоянии от них охлаждается. Непосредственно у частиц углекислого газа температура воздуха понижается до -80°C, с удалением от них температура повышается.



В слое, где температура около  $-40^{\circ}\text{C}$  и ниже, капельки воды замерзают, образуя устойчивые ледяные зародыши. За пределами этой зоны происходит переохлаждение капелек. Введение в облако 1 г углекислоты вызывает образование  $10^8 - 10^{14}$  кристаллов. Образовавшиеся таким образом ледяные зародыши быстро укрупняются, как и в смешанных облаках.

Йодистое серебро и йодистый свинец представляют собой очень мелкие кристаллы, структура кристаллической решетки которых подобна структуре льда. Поэтому кристаллы этих веществ, введенные в облака, играют роль ледяных зародышей, на которые интенсивно перегоняется водяной пар с переохлажденных капелек. В 1 г этих веществ содержится  $10^{12}$  льдообразующих частиц. Эффективное воздействие с использованием этих реагентов возможно только в случае переохлажденных облаков и туманов. Хорошие результаты они дают для рассеивания туманов при температуре воздуха ниже  $-4^{\circ}\text{C}$ , что практикуется во многих аэропортах для обеспечения взлета и посадки самолетов.

Воздействие на облака может проводиться для увеличения количества осадков в определенной местности. Воздействием на слоистообразные облака в холодный период можно увеличить сумму осадков на 12-15 %, на кучевые облака летом — на 10-12 %. Для эффективного воздействия необходимо соблюдение нескольких условий: облака должны иметь большую мощность и влажность и быть переохлажденными в мощном слое (для кучевых облаков температура воздуха в верхней части, на уровне засева, должна быть не выше  $-12^{\circ}\text{C}$ , мощность облака — больше 3,6 км, толщина переохлажденной части - более 2 км).

Воздействие на кучевые облака используют при тушении лесных пожаров в труднодоступных районах. В этом случае подбирают несколько облаков, подходящих для воздействия, движущихся в направлении пожара. Вводят реагент с самолета: 2-3 пиропатрона диаметром 26 мм выстреливают из ракетницы в каждое облако. Пиропатрон содержит 15 г йодистых реагентов. Выпадение осадков начинается примерно через 10 мин, максимальная интенсивность наблюдается через 20-40 мин, общая продолжительность осадков — около 1 ч. Осадки выпадают в виде полосы шириной 2-6 км, длиной — от 3 до 30 км.

Широкое распространение в СНГ получило искусственное воздействие на кучево-дождевые фронтальные и конвективные облака для

предотвращения града. С этой целью созданы специальные противогородовые отряды, под защитой которых находится несколько миллионов гектаров наиболее ценных земель в Молдове, на юге Украины, на Кавказе и в Средней Азии. Противогородовые отряды осуществляют слежение за развитием градоопасных облаков и возникновением градовых очагов в них с помощью радиолокаторов, что позволяет с большой точностью определить координаты образовавшегося градового очага и принять оперативные меры к его уничтожению. Поскольку образование града происходит очень быстро, воздействовать необходимо не позже чем через 15-20 мин после возникновения градовых облаков. Для введения реагентов в градовый очаг используют зенитные орудия и специальные противогородовые ракеты. Снаряды и ракеты начиняют пиротехническим составом, содержащим йодистое серебро или йодистый свинец, которые возгоняются и вводятся в облако при горении этого состава. Таким образом, в градовый очаг облака вносится большое количество льдообразующих частиц, что приводит к возникновению множества сравнительно мелких кристаллов льда, вместо небольшого числа крупных градин, которые возникли бы на редких естественных зародышах льда. После воздействия из градовых облаков выпадает крупнокапельный ливень, так как мелкие кристаллы льда при выпадении тают. Противогородовые мероприятия имеют высокую эффективность (около 90 %) и многократно снижают ущерб от градобитий

#### **Воздушные течения в атмосфере. Ветер. Воздушные массы**

Из-за различий атмосферного давления в разных точках пространства воздух постоянно находится в сложном и изменчивом движении. Горизонтальное перемещение воздуха называется *ветром*. Ветер характеризуется направлением и скоростью. Направление ветра определяется румбом или азимутом той точки горизонта, откуда ветер дует. При измерении его используется 16 румбов (8 основных и 8 промежуточных). Международные обозначения: север — N (норд), восток — E (ост), юг — S (зюйд), запад — W (зет). Русские и международные названия промежуточных румбов образуются комбинацией соответствующих слов.

Например: ССВ (*NNE*) северо-северо-восток (норд-норд-ост), ВСВ (*ENE*) — восток-северо-восток (ост-норд-ост) и т.д.

Колебания скоростей направлений при движении воздуха называют порывистостью ветра. Ветры с особенно сильной порывистостью называют *шквалистыми*.

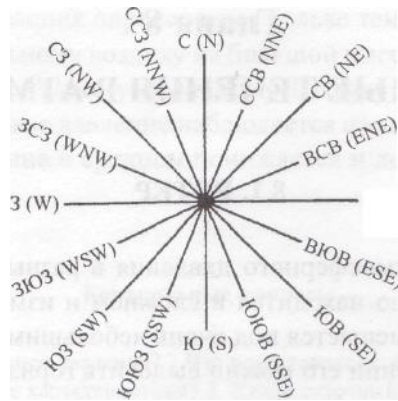


Рис. 1 – Румбы для определения направления ветра

Силу ветра принято оценивать значением его скорости по двенадцати-балльной шкале, разработанной в 1806 г. Бофортом и уточненной в 1963 г. Всемирной метеорологической организацией (рис.2).

Приведенные сведения о воздушных течениях относятся лишь к наиболее распространенным ветрам нижней части атмосферы. В последние годы получены данные о существовании мощных ветров также и в верхней части тропосферы и даже в стратосфере. Эти ветры, называемые струйными течениями, изучены пока недостаточно. Установлено лишь, что это огромные воздушные реки шириной в сотни километров, проходящие на высоте 10—20 км

Различают также *мгновенное* и *сглаженное* направления ветра. Мгновенные направления колеблются около некоторого среднего направления (сглаженного направления). Оно определяется при наблюдениях по флюгеру. И мгновенное, и сглаженное направления ветра меняются как во времени, так и от точки к точке. В одно и то же время в разных местах направление ветра различно. Чтобы охарактеризовать ветровой режим какого-либо места, определяют повторяемость того или иного румба ветра за определенный промежуток времени.

В одних районах повторяемость различных направлений ветра за длительное время почти одинакова, в других - наблюдается хорошо выраженное преобладание одних направлений над другими в течение всего сезона или года. Повторяемость и направление ветра зависят от условий общей циркуляции и (отчасти) от окружающего рельефа.

Чтобы охарактеризовать климатический режим ветра, можно для каждого пункта построить диаграмму распределения повторяемости направлений ветра по основным румбам — так называемую *розу ветров*. Для этого от начала полярных координат откладывают направления по румбам горизонта (8 или 16) отрезками, длины которых пропорциональны повторяемости ветров соответствующего направления. Концы отрезков для наглядности соединяют ломаной линией. Повторяемость штилей указывается числом в центре диаграммы (в начале координат). При построении *розы ветров* можно учесть и среднюю скорость ветра по каждому направлению. Отложив отрезки, пропорциональные средней скорости по каждому направлению, можно получить *розу средних скоростей ветра*. Умножив среднюю скорость по каждому направлению на повторяемость данного направления, можно построить график, показывающий в условных единицах количество воздуха, переносимого ветрами каждого направления.

Баллы Бофорта	М/с	Характеристика ветра	Действие ветра
0	0-0,2	Штиль	
1	0,3-1,5	Тихий	
2	1,6-3,3	Легкий	
3	3,4-5,4	Слабый	
4	5,5-7,9	Умеренный	
5	8,0-10,7	Свежий	
6	10,8-13,8	Сильный	
7	13,9-17,1	Крепкий	
8	17,2-20,7	Очень крепкий	
9	20,8-24,4	Шторм	
10	24,5-28,4	Сильный шторм	
11	28,5-32,6	Жесткий шторм	
12	32,7 и более	Ураган	

Рис. 2 –Шкала Бофорта

Солнечные лучи неодинаково обогревают земной шар, так как они падают на земную поверхность под разными углами. Больше всего тепла получает экватор, меньше всего – полюса. Поэтому тропический пояс играет роль постоянного нагревателя атмосферы, делясь теплом, а полюсы исполняют роль холодильников, забирающих тепло из тропиков и отдающих его в мировой Космос.

Нагретый воздух, расширяясь, становится легче и уменьшает давление на поверхность земли, а холодный, наоборот. Поверхность, все

точки которой испытывают одинаковое давление, называется *изобарической*. Линии одинакового давления называются изобарами (от греческих слов «isos» - равный и «baros» - тяжесть, вес). На низких уровнях создается уклон изобарических поверхностей от холодного столба к теплomu, и движение воздуха от холодных участков к теплым. Движение это тем быстрее, чем больше разница давлений. Давление на нашей планете таково, что при разных температурах вода может находиться на нашей планете в жидком, твердом и газообразном состоянии.

Для представления поля давления выделяют изобарические поверхности. Принято, что такими значениями давления являются: 1000, 925, 900, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 25, и 10 гПа. Изобарическая поверхность 1000 гПа проходит вблизи уровня моря, 700 гПа располагается на высоте примерно 3 км, поверхность 500 гПа – около высоты 5 км, поверхности 30 и 200 гПа- соответственно около высот 9 и 12 км, т.е. вблизи тропопаузы умеренных широт, поверхность 100 гПа – около 16 км, т.е. вблизи тропической тропопаузы.

В циркуляции воздуха между холодными и теплыми районами можно различить две противоположно направленные вертикальные ветви (подъем и опускание воздуха) и две горизонтальные – верхнюю и нижнюю. Горизонтальные ветви могут простираться на тысячи километров, вертикальные – в основном до максимальной высоты тропосферы. Восходящий воздух охлаждается, что приводит к конденсации содержащегося в нем водяного пара, т.е. образованию атмосферных осадков. С другой стороны, благодаря выпадению осадков, атмосфера земли никогда не бывает насыщенной. Таким образом, вертикальное перемешивание воздуха производит одновременно два противоположных действия: создает осадки и осушает атмосферу.

Наверху, на высоте 10 км самое высокое давление оказывается на экваторе, а самое низкое – на полюсе, т.е. средние изобары на этой высоте проходят почти точно вдоль параллелей: вдоль экватор располагается полоса самого высокого давления, и отсюда равномерно убывает к полюсам.

Для земной поверхности давление в основном повышается от экватора к тропикам, затем понижается к умеренным широтам и вновь повышается к полюсам. Изобары здесь проходят не по широтам, а

замыкаются вокруг центров и пониженного давления. Эти центры появляются и исчезают, постоянно находясь в движении. Хорошим примером может служить материк Евразия, где летом развивается глубокая (996 мбар) барическая депрессия, зимою – ярко выраженный антициклон (1037 мбар). Годовая амплитуда атмосферного давления здесь максимальная.

В связи с зональностью распределения температур и барического рельефа, географическое размещение ветров на Земле тоже характеризуется зональностью. Над экватором, где постоянно низкое давление, господствуют восходящие, а не горизонтальные движения. Здесь область штилей и слабых переменных ветров. В Атлантическом и Тихом океанах область *штилей* все время находится к северу от экватора, поскольку самая теплая параллель не экватор, а 10<sup>0</sup> с.ш.

*Пассаты* возникают в результате неравномерного нагревания поверхности земли и атмосферы. Между нагретыми в разной степени частями атмосферы возникает разность давлений, вследствие чего более плотные слои воздуха из полярных областей начинают перемещаться в направлении экватора. А массы теплого воздуха перемешиваются в противоположном направлении. Лучше всего пассаты выражены над океанами и островами. На материках они захватывают только побережье. Пассаты отличаются постоянством: они дуют круглый год в одном и том же направлении и почти с неизменной силой (скоростью), так как давление в субтропических максимумах и полосе штилей в году меняется незначительно. Пассат захватывает только нижнюю часть тропосферы до высоты 1,5 - 2,5 км. Выше уже развиты воздушные течения другого направления.

На берегах рек, озер, а иногда и крупных рек возникают своеобразные периодичные ветры – *бризы*, обусловленные неравномерным нагреванием суши и воды. Днем суша нагревается сильнее, чем вода, атмосферное давление над нею ослабевает, и образуется тяга воздуха с водного бассейна на сушу – это морской бриз. Мощность его не более 500 м, и внутрь суши от берега он распространяется на 2-3 десятка километров. Ночью, когда над водной поверхностью теплее и давление меньше, возникает ветер со стороны суши, - так называемый береговой бриз. Так как ночью разница температур между сушей и морем меньше, чем днем, то береговой бриз

слабее морского и заходит в море с берега не далее, чем на 8-10 км. Поэтому утреннее море гораздо более чистое, чем вечернее. Начиная с обеда можно заметить, как меняется направление ветра и к берегу устремляется мусор с акватории.

Явление, аналогичное бризам по условиям возникновения, но не с суточной, а с полугодовой периодичностью, называется *муссон* (араб. «mausim» - сезон). Образование муссонов связано с тем, что поверхность суши нагревается и охлаждается быстрее, чем поверхность морей и океанов. В летний период прохладный морской воздух перемещается в сторону более нагретой суши, а зимой охлажденный воздух с суши перемещается в сторону более теплого моря. Классической областью развития муссонов является материк Евразия и примыкающие к нему с юго-востока части Индийского и Тихого океанов.

Муссоны оказывают значительное влияние на ход целого ряда процессов в географической оболочке. На восточных берегах Азии он изменяет высоту уровня моря, который в соответствии с сезоном, испытывает колебания в 0,5-1,5 м. В Индийском океане муссоны меняют направление морских течений. В странах с муссонным климатом создается характерный гидрологический режим. Летом и ранней осенью реки могут выходить из берегов. Летние осадки, ввиду их обилия, не успевают просачиваться в почву и, стекая по поверхности незакрепленной растительностью, смывают грунт. А в сухую зимнюю пору ветер поднимает целые облака пыли. Ветры на северном побережье Сибири тоже имеют ясно выраженный муссонный характер: зимой они дуют из сибирского антициклона на Ледовитый океан, летом, когда суша теплее Ледовитого океана, - с моря на материк.

Системы ветров над более или менее обширными пространствами, захватывающие значительную толщу атмосферы и обладающие определенной устойчивостью во времени, называются воздушными *течениями*. Каждому воздушному течению присущи свои характерные особенности и причины, обуславливающие его возникновение и свойства.

*Отклоняющая сила вращения Земли.* Скорость и направление ветра определяют по отношению к системе координат, связанной с земной поверхностью. Сама же система координат (меридианы и параллели) вращается вместе с Землей. При движении любого тела во вращающейся



системе координат возникает ускорение, которое называют поворотным ускорением, или ускорением Кориолиса, а силу, вызывающую это ускорение, — отклоняющей силой вращения Земли, *или силой Кориолиса*. Отнесенная к единице массы сила Кориолиса равна ускорению, сообщаемому этой силой.

Под действием силы Кориолиса все движущиеся тела на Земле при своем движении отклоняются от первоначального направления вправо в Северном полушарии и влево в Южном полушарии. Сила Кориолиса направлена перпендикулярно движению воздуха. Поэтому не ускоряет и не замедляет движения (не влияет на скорость ветра), *а изменяет только направление его относительно земных координат*. Земные же меридианы и параллели в процессе суточного вращения Земли поворачиваются под движущимся воздухом, и по отношению к ним движение оказывается отклоненным от первоначального.

*Воздушная масса* (ВМ) — это громадный объем воздуха, сравнимый по своим горизонтальным размерам с размерами материков и океанов, обладающий определенными, сравнительно однородными физическими свойствами у земной поверхности и характерным для данной массы изменением физических свойств с высотой.

На воздушные массы расчленяется вся тропосфера. Горизонтальные размеры воздушных масс измеряются тысячами километров, вертикальные — несколькими километрами, иногда они простираются вплоть до тропопаузы. В пределах воздушных масс метеорологические величины (температура, влажность воздуха, облачность и др.) в приземном слое почти не изменяются. Резкие же изменения их наблюдаются с переходом из одной воздушной массы в другую. Соседние воздушные массы у земной поверхности разделяются сравнительно узкими (шириной несколько сотен километров) *переходными зонами* или в случае очень резкого изменения физических свойств и больших градиентов температуры еще более узкими (шириной несколько десятков километров) *фронтальными зонами*.

Полностью *сформировавшейся* воздушная масса считается тогда, когда температура ее во времени (от суток к суткам) перестает изменяться. Необходимыми условиями для формирования являются наличие однородной на большой площади подстилающей поверхности и длительное.

Если в том очаге, где формируется воздушная масса, подстилающая поверхность – море, то воздух называется морским, если подстилающая поверхность суша, лед или снег, воздух называется континентальным.

Выделяются следующие основные типы воздушных масс:

- арктический и антарктический воздух;
- воздух умеренных широт (полярный);
- тропический воздух;
- экваториальный воздух.

Воздушные течения существуют и в верхних слоях атмосферы. Они связаны с неравномерным прогреванием слоев воздуха. Так, в стратосфере, при нагревании озонового слоя в условиях полярного дня возникают стратосферные антициклонические вихри. В зимнее время в стратосфере со скоростью до 100 м/час господствуют ветры западного направления, в летний – восточного. В мезосфере в летний период на высотах 60-65 км проявляются западные ветры, а в зимний – восточные. Скорость их колеблется от 50-60 км/ч до нескольких сот км в час. В ионосфере отмечается движение электронных потоков.

Прогноз направления ветра имеет существенное значение при инженерной деятельности. В каждом районе существует роза ветров – векторная диаграмма, построенная по многолетним наблюдениям, характеризующая режим ветра в данном месте. Длины лучей, расходящихся от центра диаграммы в разные направления, пропорциональны повторяемости ветров этих направлений. Роза ветров учитывается при проектировании городов, строительстве предприятий, для того, что бы жилые районы располагались с подветренной стороны.

Смежные воздушные массы разделяются в приземном слое сравнительно узкими *переходными зонами*, метеорологические величины в которых быстро изменяются по горизонтали. В том случае, когда при переходе от одной воздушной массы к другой физические свойства воздуха меняются резко и наблюдаются большие горизонтальные градиент температуры, эти зоны называются *фронтальными*. Ширина фронтальных зон у земной поверхности составляет не более 100 км, длина же соответствии с горизонтальными размерами воздушных масс -несколько тысяч километров. Вверх фронтальные слои прослеживаются до высоты в несколько километров, а нередко вплоть до стратосферы.

Фронты постоянно возникают, обостряются, размываются и исчезают, превращаясь в широкие переходные зоны. Главной причиной образования фронтов являются условия атмосферной циркуляции, при которых происходит сближение двух резко различающихся по температуре и другим физическим свойствам воздушных масс, например, сухих и холодных с влажными и теплыми. С прохождением фронтов через определенный географический пункт район связаны наиболее резкие неперіодические изменения погоды.

Фронты отличаются большим разнообразием. Фронты, разделяющие воздушные массы основных географических типов, называются *главными фронтами атмосферы*. Проходят они в основном в широтном направлении и простираются на несколько тысяч километров. *Арктический фронт* разделяет арктический и умеренный воздух, *полярный* - умеренный и тропический воздух, *тропический* - тропический и экваториальный воздух.

*Теплым* называется фронт, перемещающийся в сторону относительно холодной воздушной массы. Относительно теплый воздух натекает при этом на клин относительно холодного воздуха и вытесняет его, захватывая новые пространства. *Холодным* называется фронт, перемещающийся в сторону относительно теплой воздушной массы. За холодным фронтом поступает относительно холодная воздушная масса. В приземном слое разность температур теплой и холодной воздушных масс, разделяемых фронтом, превышает, как правило, 5 °С. С прохождением фронтов через определенный географический пункт район связаны наиболее резкие неперіодические изменения погоды.

В северном полушарии воздух движется вокруг центра пониженного давления против направления часовой стрелки. Этот вихрь называется циклоном. В циклоне воздух вращается по часовой стрелки и сходится в одной точке в центре циклона (*в точке конвергенции*). Направление ветра в каждой точке этих кривых совпадает с направлением касательных к этим точкам.

В антициклонах линии тока также представляют собой спиралеобразные кривые, но расходящиеся от центра (*точки дивергенции*) и закручивающиеся по часовой стрелке (рис.3).

Закручивание линий тока и образование специфических вихрей объясняется особенностями взаимодействия сил, определяющих

движение воздуха в циклонах и антициклонах. При установившемся движении на единичную массу воздуха в каждой из точек действует градиентная сила ( $F_G$ ), направленная по радиусу к центру круговых изобар в циклоне и от этого центра к периферии - антициклоне. Под влиянием силы Кориолиса векторы скорости отклоняются вправо от направления градиентной силы на угол в среднем около  $60^\circ$ . Подвижные антициклоны зимой чаще всего образуются над охлажденными материками Восточной Азии и Северной Америки, летом - преимущественно над более холодными, чем суша, океанами на широтах от субтропических до полярных.

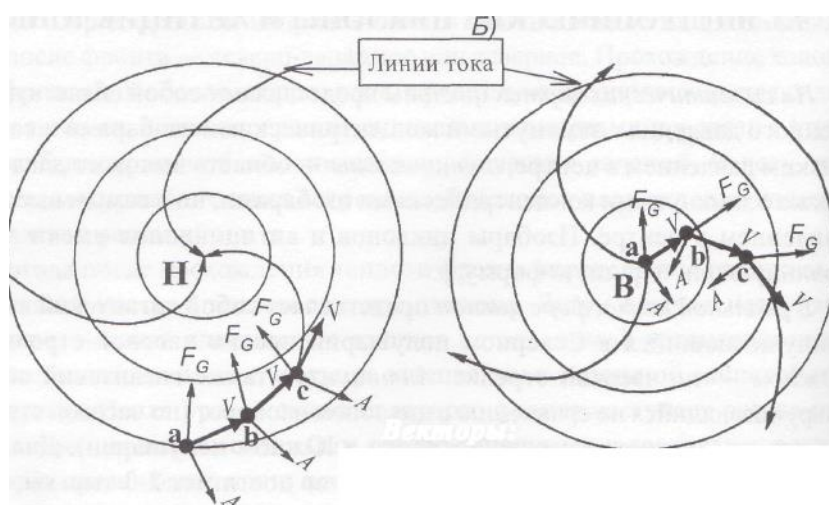


Рис -3. Схема воздушных течений в циклоне (А) и в антициклоне (Б)

*Антициклон* - область высокого атмосферного давления в тропосфере: с максимальным давлением в центре и уменьшением давления к периферии области. Обычно антициклоны достигают 3000 километров в поперечнике, и характеризуются опусканием теплого воздуха, а также понижением относительной влажности воздуха. В летний период антициклон приносит жаркую, малооблачную погоду с редкими и непродолжительными дождями. В зимний период стабильный характер антициклонов способствует морозной погоде и возникновению туманов.

Антициклоны делятся на:

*Блокирующий антициклон* - высокий теплый антициклон, длительное время находящийся в средних широтах и создающий меридиональные воздушные течения, блокирующие в тропосфере

западный перенос. При этом траектории подвижных циклонов и антициклонов отклоняются от обычного западно-восточного направления. *Высотный антициклон* - антициклон, выраженный в средней и верхней тропосфере, но отсутствующий у земной поверхности. Высотный антициклон связан с теплым воздухом, отделившимся от основной его массы, находящейся в более низких (субтропических) широтах. Малоподвижный антициклон - антициклон, который в течение многих недель может почти не менять своего положения. Чаще всего малоподвижные антициклоны располагаются над материками. С малоподвижными антициклонами могут быть связаны морозные зимы, а летом - засухи.

С антициклоном связаны: *Антициклонический вихрь* - вихрь в океане с вертикальной или наклонной осью. В Северном полушарии антициклонический вихрь вращается по часовой стрелке, в Южном - против часовой стрелки. В центре антициклонического вихря обычно находятся более теплые воды. Часто антициклонические вихри наблюдаются между течением Гольфстрим и северо-западным побережьем США.

По месту зарождения антициклоны называются:

*Азиатский антициклон* - область высокого атмосферного давления над Азией, прослеживающаяся на многолетних средних картах зимних месяцев. Азиатский антициклон - один из сезонных центров действия атмосферы. Летом азиатский антициклон заменяется азиатской депрессией.

*Антарктический антициклон* - область повышенного давления над Антарктидой, обнаруживающаяся на многолетних средних картах. На небольшой высоте (около 2 км) над внутриматериковыми районами антициклональный режим сменяется областью низкого давления.

*Арктический антициклон* - область повышенного давления над Арктикой, обнаруживающаяся на многолетних средних картах; один из постоянных центров действия атмосферы. Зимой в арктическом антициклоне наблюдаются два центра: над Северной Америкой и над Гренландией, летом - три центра: над Гренландией, Баренцевым морем и к северу от Чукотского моря. Над Северным полюсом давление относительно пониженное. На высоте 3-4 км господствует область низкого

давления. Североамериканский антициклон - область повышенного давления на уровне моря над материком Северной Америки, выявляемая на средних месячных картах зимнего сезона; сезонный центр действия атмосферы.

- *Североамериканский антициклон* - область повышенного давления на уровне моря над материком Северной Америки, выявляемая на средних месячных картах зимнего сезона; сезонный центр действия атмосферы.

*Субтропический антициклон* - область высокого атмосферного давления, выявляемая на многолетних средних картах с центром в субтропиках. В северном полушарии к субтропическим антициклонам относятся азорский и гавайский антициклоны, в южном - южнотихоокеанский, южноатлантический и южноиндийский антициклоны.

*Циклон* (от др.-греч. — «вращающийся») — атмосферный вихрь огромного (от сотен до нескольких тысяч километров) диаметра с пониженным давлением воздуха в центре, который приносит с собой ненастье и резкие изменения температуры. Воздух в циклоне циркулирует против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке в южном. Циклон — не просто противоположность антициклону, у них различается механизм возникновения. Циклоны постоянно и естественным образом появляются из-за вращения Земли, благодаря силе Кориолиса. Следствием теоремы Брауэра о неподвижной точке является наличие в атмосфере как минимум одного циклона или антициклона.

Циклоны представляют собой довольно плоские восходящие вихри, имеющие в диаметре 1000-2000 км. По вертикали они редко выходят за пределы тропосферы. Скорость ветра в циклоне может достигать ураганной силы (более 250 км/час). В целом для циклонов характерна облачная погода с выпадением значительного количества осадков и сильными, изменчивыми по направлению ветрами, теплая - зимой и прохладная — летом аиболее сильные циклоны называются *тайфунами* (от китайского тайфын — большой ветер) или *ураганами*. Эти колоссальные вихри обладают большой разрушительной силой и по традиции носят женские имена. В год над землей проносится несколько десятков тропических циклонов, разрушая сотни домов и унося тысячи жизней. На океане ураган поднимает огромные

волны и срывает их вершушки, так что трудно бывает сказать, где граница между морем и пропитанной водяной пылью атмосферой.

Циклоны, проходящие над Балтикой, при известных условиях, нагоняют воду в Финский залив, а оттуда в устье Невы и вызывают сильные наводнения в Санкт-Петербурге, где с 1703 г (год основания города) было свыше 350 случаев, когда вода поднималась на 1,5 и более метров над обычным уровнем. Существует легенда, по которой смерть Петра 1 была вызвана простудой, полученной им при спасении людей во время наводнения 1925 г. Максимальный подъем уровня Невы отмечался в сентябре 1824 г -3,88 м, а через 100 лет вода поднялась на 3,82 м, т.е. под водой оказалось 65 км<sup>2</sup> города. С целью исключения катастрофических последствий таких наводнений в 1978-1980 гг. был произведен намыв части будущих территорий города до незатопляемых отметок, а сам город защищен от приливной волны дамбой.

Хотя уровень научно-технической оснащенности значительно вырос, участвовавшие ураганы в последние годы XX и начале XXI периода наносят значительный ущерб. При тропических циклонах переносятся куски металла весом до 200 кг. Сила ветра в циклонах умеренных широт меньше, чем в тропических, но и здесь достаточна для причинения значительных разрушений и для переноса на большие расстояния различных предметов. Так, 17 июня 1940 г в деревне Мещерской (Горьковская область) падали с неба серебряные монеты – копейки ХУ1-ХУП веков. Видимо циклон прошел где-то над местом, где был зарыт клад. Наблюдались случаи, когда циклон приносил дожди из рыбы или лягушек. аиболее сильные циклоны называются *тайфунами* (от китайского тай-фын – большой ветер) или *ураганами*. Эти колоссальные вихри обладают большой разрушительной силой и по традиции носят женские имена. В год над землей проносятся несколько десятков тропических циклонов, разрушая сотни домов и унося тысячи жизней. На океане ураган поднимает огромные волны и срывает их вершушки, так что трудно бывает сказать, где граница между морем и пропитанной водяной пылью атмосферой.

Циклоны, проходящие над Балтикой, при известных условиях, нагоняют воду в Финский залив, а оттуда в устье Невы и вызывают сильные наводнения в Санкт-Петербурге, где с 1703 г (год основания города) было свыше 350 случаев, когда вода поднималась на 1,5 и более метров над

обычным уровнем. Существует легенда, по которой смерть Петра 1 была вызвана простудой, полученной им при спасении людей во время наводнения 1925 г. Максимальный подъем уровня Невы отмечался в сентябре 1824 г -3,88 м, а через 100 лет вода поднялась на 3,82 м, т.е. под водой оказалось 65 км<sup>2</sup> города. С целью исключения катастрофических последствий таких наводнений в 1978-1980 гг. был произведен намыв части будущих территорий города до незатопляемых отметок, а сам город защищен от приливной волны дамбой.

Хотя уровень научно-технической оснащенности значительно вырос, участвовавшие ураганы в последние годы XX и начале XXI периода наносят значительный ущерб. При тропических циклонах переносятся куски металла весом до 200 кг. Сила ветра в циклонах умеренных широт меньше, чем в тропических, но и здесь достаточна для причинения значительных разрушений и для переноса на большие расстояния различных предметов. Так, 17 июня 1940 г в деревне Мещерской (Горьковская область) падали с неба серебряные монеты – копейки ХУ1-ХУП веков. Видимо циклон прошел где-то над местом, где был зарыт клад. Наблюдались случаи, когда циклон приносил дожди из рыбы или лягушек.

### **Контрольные вопросы**

1. *Определение, образование и состав облаков.*
2. *Состав атмосферного воздуха. Поступление и расход углекислого газа.*
3. *Типы облаков*
4. *Характеристика облаков верхнего яруса*
5. *Характеристика облаков среднего яруса*
6. *Характеристика облаков нижнего яруса*
7. *Ветер. Сила Кориолиса*
8. *Формирование атмосферных максимумов и минимумов.*
9. *Циклоны и антициклоны*

### **Климатическая система**

*Климатология* - это раздел общей метеорологии, которая изучает закономерности формирования климатов, распределение их по земному шару, а также изменения климата в прошлом и будущем.



*Климат* - это средний за многолетний период режим погоды, характерный для данной местности и обусловленный его географическим положением (*локальный климат*).

*Глобальным климатом* называется статистическая совокупность состояний, которые проходит система «атмосфера - океан - суша - криосфера- биосфера» за многолетние периоды (*климатическая система*).

Климат относительно устойчив во времени и количественно характеризуется среднемноголетними величинами (норма) и экстремумами, выведенными за 30 лет наблюдений и более. Изменчивость климата связана с изменчивостью компонентов климатической системы и их разнообразным взаимодействием. В периоды коренных изменений глобальной климатической системы меняются и локальные климаты. Аномальные температуры воздуха наблюдаются довольно часто. Наиболее высокая температура воздуха за период инструментальных наблюдений отмечена:

- о в районе Триполи (Северная Африка) ..... 58 °С
- Наиболее низкая температура воздуха зарегистрирована:
  - а Антарктиде на станции «Восток».....-88,3°С
  - в районе Оймякона (Якутия).....-71°С
- Наименьшее среднегодовое количество осадков выпадает в районах:
  - Чили.....3 мм
- Наибольшее количество осадков получают территории:
  - Черапунджи (Индия).....10 854 мм
  - Дебунджа (Камерун).....9 655 мм.

Основным компонентом климатической системы является *атмосфера*. Это самая подвижная и изменчивая составляющая системы. Вторым по важности компонентом является *гидросфера*, в которой доминирующая роль принадлежит Мировому океану. *Суша* в целом менее динамична, чем остальные компоненты климатической системы. *Криосфера* (лед, снег) имеет большое значение в формировании климата. *Биосфера* оказывает активное воздействие на все компоненты климатической системы. Вода, которая может находиться в любых фазовых состояниях (жидком, твердом и газообразном) связывает воедино все компоненты системы.

Климат является одной из физико-географических характеристик местности и оказывает решающее влияние на хозяйственную деятельность человека, поэтому главными задачами климатологии является изучение

климатической системы и прогноз возможных изменений глобального и локального климатов. Управление погодой – вечная мечта человечества. Пока имеется несколько способов кратковременного изменения некоторых ее составляющих. В частности, в СССР была создана специальная эскадрилья, которая боролась с облачностью, рассыпая реагенты. Так делалась ясная солнечная погода во время Московской олимпиады 1980 г. На День Победы 2004 г усилиями экипажа самолетов дожди прошли в ночь на 9 мая, а днем было солнечно.

Климат подвержен цикличности. Например, после 1940 г и до середины 60-х годов наблюдалось незначительное похолодание, которое составило около  $0,4^{\circ}\text{C}$ , в то время как потепление до 40-х годов на всем Северном полушарии было не менее  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Со второй половины 70-х годов снова наступило потепление, которое продолжается и сейчас. Глобальное повышение температуры воздуха неизбежно скажется на распределении осадков, на состоянии океана. Данные наблюдений, полученные с начала века, показывают, что уровень Мирового океана действительно повышается.

Величина среднеглобальной температуры Земли менялась от  $20^{\circ}\text{C}$  в триасе до  $12^{\circ}\text{C}$  в холодные эпохи плейстоцена. Развитие представлений о предполагаемых сценариях климатического развития идет в трех направлениях. Сторонники гипотезы похолодания считают, что мы живем в межледниковую эпоху, которая небесконечна. В пользу этой гипотезы свидетельствует устойчивый рост в высоких и умеренных широтах почвенного криогенеза: наступление тундры на лесотундру и тайгу в ряде северных районов. У гипотезы потепления климата сторонников больше. Объясняется это рядом причин. Во-первых, взрывным потеплением в начале века, и значительной деградацией мерзлоты в восточных районах страны. Во-вторых, с ростом индустриализации, и, соответственно, ростом выбросов аэрозолей в атмосферу, возникает проблема наложения антропогенного потепления на естественные климатические, начавшиеся после малого ледникового периода (XV–XIX вв).

Изменения климата в каждый данный период не были однонаправленными во всех районах Земного шара, и носили дифференцированный характер, т. е. региональные различия климата наблюдались всегда. Такая ситуация имеет место и сейчас. Как среднегодовая температура нивелирует особенности ее распределения ее

по сезонам года, так и планетарная тенденция колебания температуры маскирует их большое разнообразие в разных частях планеты. Поэтому, представление о глобальном потеплении или похолодании климата вовсе не означает повсеместного повышения или понижения температуры, характеризует осредненную картину. Имеются свидетельства смещения климатических колебаний в широтном и долготном направлениях. Каждая 10-градусная широта в северном полушарии от 80 до 40 с. ш. делится на две части, ход температуры в одной из которых в основном противоположен ходу в другой. В западном направлении такое смещение составляет около  $0,6^{\circ}\text{C}$  по долготе, так, что потепление, отмеченное на Дальнем Востоке в XV в. достигнет Европы в XVIII. Один из законов Дове утверждает, что: значительные отклонения от средних в одном районе компенсируются отклонениями противоположного знака в другом районе.

#### **Солнечная активность и ее влияние на погоду**

На Солнце kloкочет гигантский термоядерный реактор. Каждую секунду Солнце теряет в весе около 300 тыс. т, выбрасывая эту массу в виде частиц в открытый Космос. И хотя на Землю попадает лишь одна двухмиллиардная часть солнечного излучения, все же каждому квадратному метру планеты достается 1,3 кВт энергии.

На Солнце постоянно появляются пятна, факелы, протуберанцы и жгуты. При достижении максимумов светило выбрасывает со скоростью 1000-1500 км/с дополнительное количество заряженных частиц-корпускул. При таких условиях солнечный ветер достигает Земли за 2-3 суток. В 2000 г. вспышка разогнала плазму до 1600 км/ч, и магнитная буря пришла на Землю всего через 29 часов. Абсолютное первенство принадлежит вспышке, зарегистрированной в октябре 2003 г. Скорость ее распространения приблизилась к 2000 км/с, расстояние до Земли потоки плазмы преодолели всего за 19 ч.

При хромосомных вспышках (взрывах солнечной материи) образуются космические лучи, состоящие из обломков атомных ядер. Усиливается ультрафиолетовое, рентгеновское и радиоизлучения Солнца,

которые несут с собой колоссальное количество энергии. Силовые линии магнитного поля Земли направляют потоки корпускул к полярным широтам, где возникают магнитные бури и полярные сияния. Вспышки активности в 1957 г привели к тому, что полярное сияние можно было наблюдать в средних широтах (Москва, Ташкент, Харьков, Сочи). В это же год на Земле произошло около 110 метеорологических катастроф-ураганов, гроз, тайфунов, ливней. В Индии паводки повторялись несколько раз, от чего пострадало более 1 млн. человек. Ливни и грозы обрушились на обычно засушливые Иран и Афганистан. В европейской части СССР зима была очень теплой, а в западной Сибири и Средней Азии морозы стояли до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Солнечная активность значительно влияет на здоровье человека. Учитывая, что в составе крови присутствует железо, которое просто не может не реагировать на изменение внешнего магнитного поля Земли. Солнечная плазма способна навредить человеку уже в первые дни его жизни: если младенец появился на свет во время относительно спокойной геофизической обстановки, а вскоре началась сильная магнитная буря, малышу крайне тяжело выдержать такого рода резкие перепады. По вине разгулявшегося светила страдают железные дороги: магнитные бури вызывают сбои в работе систем управления движением поездов, вплоть до переключения семафоров. На магистральных нефте- и газопроводах страдает анодная электрозащита от коррозии, которая приводит к росту каверн в стенках труб, из-за чего значительно увеличивается опасность прорыва магистрали. Во время сильных солнечных вспышек космические спутники теряют управление и сходят с орбиты. Были случаи падения японского спутника в океан, американская орбитальная станция упала на территории Австралии, советская – в горах Чили.

Всплески активности, при которых на лице Солнца насчитывается до 200 пятен, сменяются периодами полного покоя. В середине прошлого века был 30-летний период, когда пятна на Солнце вообще не появлялись. В это время зимы стали значительно суровее – в Голландии каналы промерзали до самого дна, на Темзе жители Лондона устраивали катки. Холодные зимы снижают темпы роста деревьев, древесина при этом становится плотнее, что позволило великим Страдивари, Гварнери и Амати создавать свои волшебные инструменты.

### Естественные и антропогенные факторы изменения климата

Естественными факторами изменения климата являются динамика размеров и взаимного расположения материков и океанов, горообразование, изменение системы океанических течений, поднятие больших участков суши, а также изменение солнечной постоянной, солнечной активности, вулканические извержения и т.п. Под их влиянием происходили изменения климатообразующих процессов: общей циркуляции, составляющих теплового баланса, условий тепло и влагооборота, а значит и климата. Таким образом, сильные изменения климата были результатом совместного действия факторов как космических, так и геоморфологических.

Существует множество гипотез о причинах глобального изменения климата и ландшафтов. Изучение этих колебаний связано с увеличением экономической ценности климатологической информации. К *астрономическим* гипотезам относятся:

- изменение эксцентриситета Земли;
- изменение величины перигелия земной орбиты; при этом сезонные контрасты, отмечаемые в одном полушарии, сглаживаются в другом;
- изменение наклона оси Земли. На современном этапе орбита планеты все более приобретает форму окружности, при этом уменьшается разница между максимумом и минимумом инсоляции, что обуславливает в северном полушарии низкие летние температуры при соответственно холодных зимах в южном полушарии.
- По второму закону Кеплера, Земля движется по орбите в перигелии быстрее, чем в афелии. Это приводит к сокращению длительности зимы в северном полушарии, лета – в южном.

К космическим факторам, воздействующим на общую циркуляцию атмосферы, а значит, на погоду и климат, относятся гравитационные взаимодействия Земли и больших планет Солнечной системы.

По отношению к этим факторам современная ситуация такова. Земная орбита все более приобретает форму *окружности*, тем самым, уменьшая разницу между максимумом инсоляции, и обуславливает в *северном полушарии низкие летние температуры при соответственно холодных зимах в южном полушарии*. Наклон оси уменьшается и создает

тенденцию к уменьшению разницы между сезонами в обоих полушариях. Изменение времени прохождения перигелия увеличивает сезонные контрасты в одном полушарии и сглаживает их в другом. Сейчас прохождение перигелия приходится на 3 января. Поэтому в северном полушарии зима несколько теплее, чем могла бы быть, а в южном полушарии – наоборот.

Земные причины обуславливают неустойчивость атмосферы, которая является сложной автоколебательной системой. Энергия для зональной циркуляции черпается из энергии, запасаемой в контрастах температур экватор - полюс и океан - материк. Наиболее характерными периодами для последнего тысячелетия являются следующие климатические условия: сравнительно теплый период, примерно, VIII-XIV веков, получивший название малого климатического оптимума; похолодание между XVI и XIX веками – малый ледниковый период; потепление, начавшееся во второй половине XIX века. Современный климат - под ним подразумевается климат после потепления в 1950-е годы, когда температура достигла максимума. Затем началось похолодание, сменившееся значительно большим похолоданием, достигшем максимума в 60-х годах. Вслед за этим было зарегистрировано повышение температуры, т. е. потепление в XX столетии было сконцентрировано в течение двух периодов 1920-40 гг. и после 1975 года. С 1940 -го до начала 70-х годов в северном полушарии имело место похолодание, хотя именно в эти годы происходило интенсивное развитие промышленности, за исключением военных лет. Если в продолжение периода не менее 10 лет средняя температура воздуха была выше или ниже многолетних, мы вправе такие аномалии рассматривать как климатическую изменчивость

Когда большинство климатических элементов изменяется во времени, в климатологии это называется термином «*вариации*». Вариации, захватывающие несколько десятилетий считаются «*изменением климата*». Если изменения климата приводят к восстановлению первоначальных параметров климатических элементов – это *флуктуации* климата.

Под термином «*тренд*» понимается: усиление или ослабление основной тенденции, в частности прогрессивное возрастание или убывание средних значений непрерывного ряда показателей. Если тренд не просматривается, то говорят, что эти показатели устойчивы во

времени. Прогнозирование – процесс получения данных о возможном состоянии исследуемого объекта. Прогноз – научно обоснованное предвидение тенденция в изменении природной среды и производственно-территориальных систем. Методика прогнозирования - совокупность методов прогнозирования. Долгосрочный прогноз- это прогноз на месяц, на сезон, несколько сезонов. Прогнозы на несколько лет относятся к сверхдолгосрочным. Прогнозы на десятки лет являются прогнозами современных изменений климата.

Изменения климата – это длительные климатические тренды, проявляющиеся глобально в осредненных характеристиках климатической системы. Изменчивость климата – это существенные отклонения от этих трендов в региональных масштабах за сравнительно ограниченные отрезки времени.

Цикл – (от греческого - круг) циклическое развитие это такое изменение состояния системы, при котором она возвращается в идентичное, уже имевшее место в прошлом состояние, уже имевшее место в прошлом состоянии, через любой интервал времени.

Ритм – от греческого - соразмерность, стройность, характеризует закономерное чередование соизмеримых элементов в системе. Для ритмично протекающих процессов характерно закономерное повторение определенных качественных состояний отдельных элементов системы, причем интервалы повторений могут быть и неодинаковы.

Имеются свидетельства смещения климатических колебаний в западном направлении (с востока на запад). Такие смещения составляют около 0,6 пол долготы за год, так что потепление, отмеченное на Дальнем Востоке в XVI столетии достигает Европы только в XVIII. В годы медленного суточного вращения Земли ослаблены пассаты и усилен западный перенос умеренных широт. Этот режим преобладал в XX веке, ослабление пассатов привело к росту температуры воды в тропической зоне всех океанов на 0.3-0. 5 ° С . В умеренной зоне температура воды понизилась и возросла повторяемость схем «холодные океаны - теплые континенты»

При повышении средней температуры атмосферы температура экваториальной зоны остается практически неизменной. При общем потеплении происходит, прежде всего, повышение температуры полярных

зон. Основной двигатель атмосферной циркуляции – перепад температуры между экватором и полюсами ослабевает, значит, слабеет циркуляция, а, следовательно, перенос. Уменьшение атмосферной циркуляции будет сопровождаться уменьшением интенсивности штормов, во время которых в атмосферу переходит огромное количество влаги.

Изменчивость интенсивности приливообразующих сил, возникающих через 1800-1900 лет, сопровождается катастрофическими изменениями циркуляции в морях, а вслед за ними и климата Земли. Наиболее мощные волны поднимают на поверхность холодные глубинные волны. Наиболее известно проявление в ландшафтной оболочке приливообразующих сил длительностью 18, 6 лет. По материалам 300 метеостанций с 1800 г. показано, что изменчивость температуры воздуха и засушливость всей северной Америки в ритме 18, 6 лет.

Существует точка зрения, что глобальное изменение до некоторой степени вызвано повышением солнечной активности во второй половине XX века. Магнитное поле Солнца обуславливает развитие областей низкого давления в высоких широтах с геомагнитными бурями и возмущениями ионосферы. Два главных результата данных наблюдений, а именно:

- метеорологические отклики на солнечную активность наиболее заметны в зимний сезон;

- некоторые метеорологические отклики на суше противоположны откликам над океанами.

Значительные изменения климатических условий обусловлены солнечной активностью. Длина цикла солнечных пятен равна примерно 11 годам, хотя варьирует от 8,5 до 14 лет. Солнечным циклам дана нумерация с минимального 1755 до минимума 1766 года - был первый цикл; 20-й цикл – с 1964 по 1976 годы. Группа 1,2,3 и 4 циклов сходна с группой 17,18,19 и 20 циклов, что дает 180-летнюю периодичность. Группы 5,6,6 и 12,13 и 14 циклов также сходны, что дает 80-летний цикл. Увеличение солнечной активности приводит к увеличению континентальности климата, особенно в нечетных числах. Циклы длительностью 80-90 и 180 лет также приписывают влиянию солнечных пятен, но здесь необходимо отметить, что, так как удовлетворительные данные о солнечных пятнах



имеются приблизительно около 400 лет (со времени Галилея), статистическая база для последних утверждений далека от совершенства.

Периоду климатического оптимума X-XIII веков соответствовал максимальному чисел Вольфа, малому ледниковому периоду (1450-1770) – минимальные. Похолодание 1812-1921 годов совпадает с минимумом солнечных пятен.

За период накопленных наблюдений для территории ЕТС было два полных вековых солнечных цикла. Первый за период 1713-1823 и состоял из 10 одиннадцатилетних или 5 двойных циклов; второй – за 1824-1913 годы включает восемь одиннадцатилетних или четыре двойных циклов. Следовательно, продолжительность этого цикла равна 111 и 90 годам. Ветвь роста первого векового цикла солнечной активности не является в полном смысле аналогом по отношению к ветви роста текущего цикла. Однако общее сходство в изменении уровня их активности имеется. Для районов Байкала циклы температуры относительно 22-летних солнечных циклов в основном запаздывают на фазе до 3 лет. Циклы атмосферных осадков опережают их до 4 лет, т. к. формирование циклов осадков происходит в период фазы падения циклов температуры. На территории Америки наибольшее количество осадков выпадает на 1-3 года раньше наступления вершины 11-летних циклов.

Прогноз изменения климата Северной Евразии рассматривается с позиций теории циклических изменения гидрометеорологических условий в голоцене (последние 12 тыс. лет), а именно – хорошо выраженного чередования прохладно-влажных и тепло – сухих периодов, в интервале 1500-2100, 70-90, 30-45,7-11 лет. Причиной таковых циклов является влияние энергии планет Солнечной системы на общую циркуляцию атмосферы. В указанных временных интервалах проявляется изменчивость тектонической и вулканической активности Земли, а также биологические процессы – урожайность зерновых культур, уловы рыб, масштабы лесных пожаров, течение эпизоотии животных, сердечно-сосудистых заболеваний людей, динамика численности и ареале животных.

*Прогноз на потепление.* К настоящему времени у исследователей динамики климата и ландшафтов разработано три возможных варианта климатических изменений: потепление, похолодание и стабильное

развитие процессов. Наибольшее количество научных публикаций посвящено рассмотрению возможных сценариев потепления климата, которое связывается как с природной цикличностью, так и с антропогенными факторами: увеличением количества  $\text{CO}_2$  в атмосфере и возрастанием массы малых газов. Установлено, что средний тренд потепления составил  $0,5^{\circ}\text{C}/100$  лет. Годовые осадки над сушей в этот же период увеличились на 6 %. Считается, что человечество нанесло химический удар по атмосфере, и природа не может к нему немедленно приспособиться.

По сравнению с климатом современной эпохи, температура воздуха при потеплениях повышается в высоких широтах больше, чем в низких, а зимой значительно больше, чем летом. Большинство исследователей сходятся в том, что в долгосрочной перспективе прогнозируемые изменения температуры могут привести к смещению к северу границ климатических зон. Даже сравнительно незначительные колебания температуры в текущем столетии уже вызвали изменения границ распространения отдельных биологических видов. Но в целом, эти изменения происходят медленно. Для древесных видов средняя скорость смещения ареала составляет несколько десятков километров в столетие. Таким образом, сдвиг растительных зон, скорее всего, будет отставать от климатических изменений.

Предполагаемое глобальное потепление климата вызовет существенные изменения в повышении температуры почвы, и, соответственно, в лесах планеты. В наибольшей степени сократятся бореальные и субтропические леса. Процесс будет сопровождаться расширением зоны тропических лесов, а также саванн и пустынь. При этом деревья северных склонов реагируют на потепление сильнее, чем деревья на южных склонах.

На современном этапе считается, что, прежде всего, надо говорить не о потеплении, а о глобальных климатических изменениях. Потепление – лишь один из аспектов этих изменений. В качестве их причины почти всегда называют только усиление парникового эффекта вследствие роста содержания парниковых газов в атмосфере. Но система живых организмов (биота) успешно справляется с задачей регулирования концентрации парниковых газов. При увеличении концентрации  $\text{CO}_2$  активизируется

газовый обмен у растений: они больше поглощают  $\text{CO}_2$ , больше выделяют кислорода и этим способствуют возвращению концентрации  $\text{CO}_2$  к равновесному значению. Наоборот, при понижении концентрации этого газа он с меньшей интенсивностью усваивается растениями, что обуславливает повышение его концентрации (типичная иллюстрация к действию принципа Ле Шателье или механизма гомеостаза). Иными словами, биота поддерживает концентрацию парниковых газов на определенном уровне, обеспечивая оптимальный для неё климат на Земле. Это относится к газам естественного происхождения и не относится к хлорфторуглеродам, которые были открыты и стали производиться в середине XX века, в природе не встречались, и биота пока не умеет с ними справляться.

*Прогноз на похолодание климата.* При разработке сценариев на XXI век следует учитывать не только вероятность глобального потепления климата и его влияния на природную обстановку, но и глобальные похолодания, которые приводили к гигантским преобразованиям ландшафтов. В связи с этим большое значение имеет воссоздание природной обстановки наиболее близкой нам ледниковой эпохи (20-10 тыс.л. н.). В связи с этим большое значение имеет воссоздание природной обстановки наиболее близкой нам ледниковой эпохи. На основании палинологических данных можно считать, что для сартанской ледниковой эпохи в Западно-Сибирском регионе не было лесной растительности. Южная граница вечной мерзлоты находилась за пределами равнины, в Казахстане. Сходные климатические и ландшафтные обстановки были установлены и в Европейской части России. В экологическом отношении такие сильные похолодания практически делают непригодными для освоения огромные территории Сибири.

По мнению ряда ученых, мы находимся в движении от одного ледникового периода к другому, но скорость изменений очень мала - порядка  $0,02^{\circ}\text{C}$  за столетие. Все это совершенно не противоречит концепции антропогенного изменения климата.

Самые важные обстоятельства, отражающие существующие заблуждения, состоят в следующем:

1. Данные наблюдений, пока еще неадекватные с точки зрения их полноты и надежности, не содержат отчетливого подтверждения

существующего, антропогенно обусловленного, глобального потепления (включая наземную и космическую службы наблюдений).

2. Если усиление парникового эффекта атмосферы, обусловленное предполагаемым удвоением концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, составляет около  $4 \text{ Вт/м}^2$ , то неопределенности, связанные с учетом климатообразующей роли атмосферного аэрозоля и облаков, при численном моделировании климата, достигают десятков и даже сотен  $\text{Вт/м}^2$ .

3. Осуществление рекомендаций, опирающихся на эти результаты, могут иметь далеко идущие негативные социально-экономические последствия.

4. При усилении вулканизма наряду с повышением температуры из-за роста концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, существует также тенденция к понижению температуры в результате увеличения массы стратосферного аэрозоля.. При извержении выбрасываются огромные объемы аэрозолей, которые разносятся тропосферными и стратосферными ветрами и поглощают часть солнечной радиации. Так, извержение вулкана Тамбора в Индонезии в 1815 г. снизило среднюю глобальную температуру. В последующий год и в Европе, и в Северной Америке лета «не было», но за несколько лет температурный режим восстановился до нормы. Таким образом, вулканы могут играть главную роль в похолодании климата в масштабе нескольких лет.

Отмечается, что существует планетарный феномен – образование полосы относительного безлесья в северном полушарии, которая составляет, примерно, 1 млн кв. км (Российский Север - 450, север скандинавских стран -10-12, южная Гренландия 2-3, Аляска -50, север Канады 300-500 тыс. кв. км). К тому же, вырубка лесов, лесные пожары на северном пределе таежной зоны приводят к замене лесных экосистем тундровыми.

Выявлено, что в последние 3-5 тысяч лет в высоких и умеренных широтах идет направленное похолодание, прерываемое на отдельных отрезках этого времени постепенно затухающими потеплениями. Современное положение ландшафтной оболочки отвечает второй половине голоценового межледниковья. Оно началось около 10 тыс. лет назад, а оптимум его имел место около 5 тыс. лет назад. По палеонтологическим

данным, а также по данным колонок ледниковых кернов, предоптимальный подъем характеризуется быстрым подъемом температуры, а постоптимальный период более растянут, происходит медленное, с колебаниями и понижением. Это означает, что, так или иначе, по крайней мере, через два тысячелетия, человечество окажется в условиях ледниковой эпохи.

Можно считать, что затронутые аспекты касаются перспектив слишком отдаленного будущего. Это справедливо лишь отчасти, поскольку естественный тренд в сторону похолодания реализуется уже сейчас. Малый ледниковый период XIУ-ХУШ веков, т. е. охвативший не менее четырех столетий, лишь одна из ярко выраженных волн похолоданий. Не исключены естественные фазы похолоданий в наступающем и последующем столетиях. Поиски закономерностей возникновения таких малых похолоданий – одна из важных задач.

В настоящее время главным естественным регулятором процесса антропогенного изменения климата является Мировой океан. Поглощение углекислого газа океаном – очень сложный процесс.  $\text{CO}_2$  не только растворяется в воде, но и переходит в ионные формы  $\text{HCO}_3$  и  $\text{CO}_3$ , баланс между которыми зависит от температуры, кислотности вод и других факторов. Все это непосредственно связано с жизнью морской биоты. Но пока невозможно сказать, как поведет себя океан, если концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере станет еще больше. Будет ли он тоже поглощать больше или, наоборот, меньше, что более опасно.

Антропогенный фактор лишь один из нескольких элементов, определяющих глобальные и региональные изменения климата. В годы медленного суточного вращения Земли ослаблены пассаты и усилен западный перенос воздушных масс умеренных широт. Этот режим преобладал в XX веке, ослабление пассатов привело к росту температуры воды в тропической зоне всех океанов на  $0,3-0,5^0$  С. В умеренной зоне температура воды понизилась и возросла повторяемость схем «холодные океаны – теплые континенты». Для всех сезонов в период 1879-1976 годов в Центральной и Восточной частях Атлантического океана имело место похолодание, тогда как над основной его территорией – потепление.

Климатические перемены на земном шаре происходили при *передвижениях материков* и связанных с этим перемещений полюсов

земной коры по отношению к земным полюсам. Например, схема движения Северного полюса земной коры в течение последнего геологического периода рисуется следующим образом. В силуре он находился на месте центральной части Тихого океана, а затем перемещался в более северные области. Северная Америка сместилась к югу, в миоцене полюс находился недалеко от района Берингова пролива, а затем постепенно переместился к востоку, заняв положение в Атлантическом океане между Северной Америкой и Европой около Гренландии. После чего он начал приближаться к восточной части Европы и, следовательно, к Азии. Наконец полюс земной коры пришел в свое нынешнее положение. Из изложенного ясно, что когда полюс находился среди суши, наблюдались материковые оледенения, а когда он находился среди океана, возможности создания ледникового покрова не было. Соответственно этому менялись и климаты всех точек земного шара. Нарушение энергетического баланса Земли может произойти под влиянием изменения материков. Перераспределение земных масс (дрейф континентов) и океанов, происшедшее около 200 млн. лет назад, оказало сильное влияние на изменение климатических условий. Дрейф континентов продолжается и в настоящее время. Изменения климата с периодами 90, 40 и 20 тыс. лет связаны и с изменением орбитальных параметров Земли под влиянием других планет. Весьма существенную роль в тепловом режиме атмосферы играют изменения астрономического положения Земли. Одни и те же широты, например, периодически оказываются то в Арктике, то в умеренном поясе.

### **Контрольные вопросы**

1. Понятие климатология и климат
2. Влияние солнечной активности на климат

### **Заключение**

В этом пособии рассматриваются взаимные связи климата с различными географическими процессами, развивающимися во взаимосвязи с геологическими, гидрогеологическими, гидрологическими и почвенными процессами. Изучение климата любой территории имеет значительную экологическую и экономическую ценность.

В понятие «глобальный климат» входит статистическая совокупность состояний, которые проходит система «атмосфера - океан - суша -

криосфера- биосфера» за многолетний период. Одновременно с этим, жизнь биосферы тесно связана с климатическими условиями. Так, первоначальная атмосфера состояла в основном из водорода и метана, так же и водоемы были наполнены этими газами. С появлением растительности стала развиваться кислородная атмосфера, но кислород не смог вытеснить весь накопившийся азот. Изучение статистических и динамических процессов в метеорологии и климатологии осуществляется с помощью наземных и космических методов. При этом наблюдения на ряде метеостанций проводятся уже более двух столетий, в то числе и в России, практически сразу с изобретением метеорологических приборов. Для изучения всех сложных взаимосвязей в климатической системе существует международное сотрудничество, благодаря деятельности которой мы имеем ежедневные прогнозы погоды практически по всему земному шару. Классификация облаков также имеет международный статус.

Земля, как космическое тело, подвержена разномасштабной цикличности – от миллионов лет до 11-летнего солнечной активности, что отражается на изменении состояния подстилающей поверхности. В некоторых областях метеорология значительно продвинулась вперед. Так, имеется опыт по вызыванию атмосферных осадков в засушливые периоды или во время катастрофических пожаров, и, напротив, проведение мероприятий по их предупреждению, когда намеченные массовые мероприятия на открытом воздухе нельзя отменить. Таким образом, метеорология и климатология – важные науки, необходимые для изучения выживания всего человечества.

### **Библиографический список**

1. Гидрология суши. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1961. - 448 с
2. Добровольский, В. В. География почв с основами почвоведения : учеб. для студ. высш. учеб. Заведений /В. В. Добровольский. - М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. - 384 с.
3. Добровольский, В. В. Геология : учеб. для студ. высш. учеб. заведений /В. В. Добровольский. – М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. - 320 с.

4. Кириченко, В. В. Наука о Земле: учебное пособие для вузов /В. В. Кириченко, Щекина М. В. - М.: Изд-во Моск. горн. ун-та, 2005. - 238 с.
5. Костюкевич Н. И. Лесная метеорология. Минск: «Вышэйш. школа». 1975. - 288 с.
6. Почвоведение: под ред. И. С. Кауричева. М. : ВО «Агропромиздат», 1989. - 720 с.
7. Росликова, В. И. Почва – надежный дом живых существ : научн.-метод. пособие / В. И. Росликова, М. И. Горнова М.И. – Владивосток - Хабаровск : ДВО РАН, 2003. - 123 с.
8. Сверлова Л. И. Динамические и статистические закономерности в природе / Л.И. Сверлова. - М. : Мегалион, 2004. - 168 с
9. Хабаров, А. В. Почвоведение / А. В. Хабаров, А. А. Яскин. - М. : Колос, 2001. - 232 с.
10. Чеботарев А. И. Общая гидрология (воды суши) / А. И.Чеботарев. - Л. : Гидрометеиздат, 1978. -544 с.

## Оглавление

Введение .....	3
Основные понятия метеорологии и климатологии .....	4
Основные этапы развития метеорологии. Международное сотрудничество .....	4
Метеорологические величины, атмосферные явления .....	6
Методы исследований и система получения информации.....	8
Контрольные вопросы.....	10
Строение и состав атмосферы .....	16
Радиационный режим атмосферы и земной поверхности.....	23



Антициклоны и циклоны.....	26
Облака. Классификация облаков. Активное воздействие на облака..	28
Воздушные течения в атмосфере. Ветер. Воздушные массы.....	34
Контрольные вопросы.....	42
Климатическая система.....	48
Понятие о климатической системе.....	48
Солнечная активность и ее влияние на погоду.....	50
Естественные и антропогенные факторы изменения климата.....	52
Контрольные вопросы.....	61

Учебное издание

**О. М. Морина, А. М. Дербенцева, В. А. Морин**

**МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ**

Учебное пособие

Отпечатано с авторского оригинала-макета  
Дизайнер обложки

Подписано в печать                      Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага писчая. Гарнитура «Таймс». Печать цифровая.  
Усл. печ. л.                      Тираж 100 экз. Заказ

Издательство Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Тихоокеанский государственный университет»

Утверждаю в печать  
Ректор ТОГУ  
д-р техн. наук, проф. С. Н. Иванченко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2013\_\_ г.

**О. М. Морина, А. М. Дербенцева, В. А. Морин**

# **МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ**

*Утверждено издательско-библиотечным советом университета  
в качестве учебного пособия*

Авторы:

\_\_\_\_\_ О. М. Морина

\_\_\_\_\_ А. М. Дербенцева

\_\_\_\_\_ В. А. Морин

Научный редактор

д-р. х. н. \_\_\_\_\_ Л. П.

Майорова

Хабаровск  
Издательство ТОГУ  
2013