

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
(РГГМУ)

О.Г.Богаткин, Г.Г.Тараканов

ОСНОВЫ МЕТЕОРОЛОГИИ

учебное пособие по курсу «Основы метеорологии»
для студентов вузов по специальностям:
экология, экономика природопользования, менеджмент
и маркетинг.



Санкт-Петербург
2006

О.Г. Богаткин, Г.Г. Тараканов Основы метеорологии. - СПб, изд. РГГМУ 2006 - 232 с.

Рассматриваются вопросы, связанные со строением и составом атмосферы, основными параметрами атмосферы и единицами их измерения. Сравнительно просто объясняется физика основных атмосферных процессов. Обсуждаются проблемы влияния погодных условий практически на все стороны человеческой деятельности

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих метеорологию, но для которых метеорология не является основным предметом. Это могут быть экологи, менеджеры, курсанты летных училищ и т.д. Это пособие также может быть полезно студентам-метеорологам и аспирантам для более четкого представления о процессах, происходящих в атмосфере.

Рецензенты: А.В. Белоцерковский, д.ф.-м. н., проф.;
Р. Радевей, сотрудник метеослужбы Англии.

The book contains comprehensive information on structure and composition of the atmosphere, its parameters and their units, and all other physical aspects of meteorology. The relation of the meteorological processes and phenomena to human life and activity. The information is given in the most simplified form to enable everyone to understand it and use if necessary.

The book is intended for students studying meteorology as a secondary subject supporting their specialization and activity in the fields, which have only some links with meteorology. As a training aid it also can be useful for undergraduate and postgraduate students for more clear understanding the nature of the atmospheric processes.

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Геоэкология» направления подготовки дипломированных специалистов «Экология и природопользование»



РГГМУ, 2006

Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г.

OS847C

ПРЕДИСЛОВИЕ

В конце прошлого столетия отечественная высшая школа, да и не только она одна, переживала далеко не лучшие свои времена. Перед каждым вузом стояла очень трудная задача — выжить. Каждый вуз решал эту задачу по-своему. Эти проблемы не обошли стороной и нас, Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ).

Университет стал готовить специалистов, профиль подготовки которых, мягко говоря, несколько отличался от традиционного для РГГМУ. Мы стали готовить специалистов в области экономики природопользования, специалистов по маркетингу и менеджменту, специалистов по связи с общественностью, специалистов в области защиты информации. Для университета это не только желательно, но и обязательно. Перечисленные специалисты нужны каждой отрасли промышленности, а наш РГГМУ — единственный в России университет гидрометеорологического профиля.

Нельзя сказать, что специалисты «экономического профиля» совсем не нужны в гидрометеорологии, но, пожалуй, их подготовку следовало бы организовать как-нибудь иначе. Ведь при том же сроке обучения студентам этих специальностей приходится изучать «свои» дисциплины. Это и макроэкономика, и микроэкономика, и маркетинг, и логистика, и бухгалтерский учет, и многое-многое другое. А ведь срок обучения в университете остался прежним. Эти специальные дисциплины изучаются за счет часов, которые раньше предназначались для изучения метеорологических дисциплин.

В результате оказалось, что выпускники «модных», но нетрадиционных для вуза специальностей плохо знают метеорологию. Это не их вина, а их беда. Ведь после окончания университета молодому специалисту работодатель будет платить зарплату только в том случае, если этот специалист ему нужен. Если же это специалист, например, по связи с общественностью, то он должен знать, хорошо знать, чем занимается его фирма, уметь рассказать об этом тем лицам, которые знают о фирме еще меньше, чем он, и тем самым увеличить объем продаж изделий фирмы. Если же фирма не производит никаких товаров, то нужно постараться так представить ее, чтобы это было интересно. Тогда вместе с этой информацией (например, прогнозом погоды) «пойдет» реклама, за которую фирма будет получать деньги, а

специалист — зарплату. В противном случае специалист по связи с общественностью для фирмы окажется нахлебником и будет уволен.

Более или менее представляя всю эту «кухню» мы решили написать учебное пособие «Прикладная метеорология», в котором в упрощенном виде представить все основные процессы, происходящие в атмосфере. Учитывая гуманитарную направленность нетрадиционных специальностей, до минимума сокращено количество формул и математических выкладок и выводов, а основное внимание уделено физическому смыслу происходящих в атмосфере процессов. Таким образом, получился «букварь» для студентов, который позволит нашим выпускникам достаточно хорошо знать азы метеорологии.

В этом учебном пособии изложены основные вопросы общей метеорологии, динамической и синоптической метеорологии, климатологии и других метеорологических дисциплин. По возможности в нем затрагиваются и экономические проблемы, связанные с различными метеорологическими явлениями.

Учебное пособие рассчитано на студентов — гидрометеорологов, для которых метеорология не является основным предметом. Это пособие будет также полезно студентам гидрометеорологических техникумов, курсантам летных училищ и другим специалистам, которым нужны достаточные и хорошие знания в области метеорологии, но без серьезной математики, без которой «большая метеорология» обойтись не может.

ВВЕДЕНИЕ

Мы живем на планете Земля — планете солнечной системы, и знаем, что планета Земля имеет атмосферу — воздушную оболочку, гидросферу — жидкую оболочку, литосферу — твердую оболочку и биосферу — живую оболочку, а вернее — жизнь, во всех трех перечисленных выше оболочках Земли. Процессы, происходящие во всех оболочках Земли взаимосвязаны, и их нельзя отрывать один от другого. Однако развитие науки на Земле привело к тому, что каждую оболочку, каждую сферу сейчас изучают разные специалисты: литосферу — геологи и геофизики, гидросферу — гидрологи и океанологи, биосферу — биологи, а атмосферу — метеорологи.

Метеорология — наука, изучающая физические явления и процессы, происходящие в атмосфере, и их взаимодействие с поверхностью Земли (вода или суша). Слово «метеорология» произошло от двух греческих слов: «метеор», что означает любое явление, происходящее на небе, и «логос», что означает изучение.

Не всегда планета Земля была такой, как мы ее сейчас представляем. Примерно 4,5 миллиарда лет назад во Вселенной летал огромный булыжник диаметром около 13000 км. Попав в поле притяжения «Желтого карлика» — Солнца, этот булыжник стал одной из планет солнечной системы, которую мы теперь называем Землей. Сначала Земля представляла собой большой и холодный камень. Внутри этого камня постепенно стало увеличиваться давление, и как следствие — увеличиваться температура. Камень стал плавиться, и началась вулканическая деятельность.

В выбрасываемых при извержении вулканов породах содержалось 7% воды (водяного пара) и около 1% газов, причем кислород в этих газах был только в связанном состоянии. За время существования Земли вулканы выбросили на поверхность огромную массу вещества, тем самым создав земную кору.

Примерно через 3 миллиарда лет на поверхности планеты появилась вода, а в окружающем пространстве — атмосфера. Вода, заполняя низины на планете, привела к появлению морей и океанов, а затем постепенно в океанах зародилась жизнь.

Выше упомянута одна из гипотез возникновения Земли как планеты. Ну а теперь мы с вами будем изучать и знакомиться с процессами, происходящими в атмосфере Земли. Само слово «атмосфера», обозначающее воздушный океан, состоит из двух греческих слов: «атмос» — пар, и «сфера» — шар. Это название упот-

реблял еще Аристотель, а в русскую науку его ввел М. В. Ломоносов.

Все жизненные процессы на Земле связаны с атмосферой. Дыхание человека и животных — это окисление крови кислородом воздуха. Когда мы зажигаем огонь, чтобы приготовить пищу и защитить себя от холода, мы используем кислород воздуха. Мы говорим друг с другом, а ведь звук — это волны в воздушном океане. Живя на дне этого океана, мы им дышим и существуем, как живут и дышат рыбы в воде.

Жизнь, практика ставит перед наукой во всем мире задачу познания законов и закономерностей всех происходящих на Земле процессов с целью в последующем научиться управлять этими процессами. В этом плане и перед метеорологией стоит задача познания атмосферных процессов с целью в последующем научиться управлять ими.

Изученные законы и закономерности в развитии атмосферных процессов используются сейчас для решения различных практических задач, среди которых важнейшей является предсказание (прогноз) погоды. Теперь на очереди другая важнейшая задача — управление погодой. Ее решение только-только начинается.

Метеорология изучает огромное число различных явлений, происходящих в атмосфере. Естественно, что при этом ей не обойтись без других наук, без их достижений.

Изучение метеорологии немыслимо без серьезных познаний в области высшей математики, физики, химии, астрономии, аэрогидромеханики, географии и целого ряда других наук.

Метеорология относится к разряду наук геофизических, так как процессы в атмосфере тесно связаны с тем, что происходит в поверхностном слое земной коры и в водной оболочке земного шара. Вот поэтому имеет место очень тесная связь метеорологии с такими науками, как океанология, физика моря, гидрология и т.д.

Уже в конце XIX века в метеорологии наметилось тенденция к оформлению отдельных крупных разделов в виде самостоятельных научных дисциплин. В настоящее время метеорологию как единую науку можно подразделить на следующие самостоятельные дисциплины.

Физика атмосферы представляет собой учение о физических явлениях и процессах, происходящих в атмосфере. Основное внимание здесь уделено структуре атмосферных явлений и процессов и на установлении связей между различными метеорологическими величинами и явлениями погоды.

Метеорологические измерения и приборы. Это теперь тоже отдельная и очень важная наука. Нужно создать прибор, нужно, чтобы он правильно измерял заданные параметры, нужно, чтобы его характеристики отвечали международным требованиям и мировым стандартам.

Аэрология. Это наука о высоких слоях атмосферы, о свободной атмосфере. С помощью аэрологических наблюдений сначала измеряют, а потом анализируют свойства воздуха и различных атмосферных процессов, происходящих на разных высотах. Это, прежде всего, наблюдения за ветром, атмосферным давлением, температурой и влажностью до высоты около 40 км. Такие наблюдения во всем мире проводятся регулярно с помощью шаров-пилотов или радиозондов.

Динамическая метеорология. Эта научная дисциплина, задачей которой является изучение атмосферных движений и связанных с ними преобразований энергии в атмосфере путем решения уравнений гидродинамики и термодинамики. Основная практическая задача динамической метеорологии — разработка методов гидродинамического моделирования атмосферных процессов с целью их численного прогноза.

Спутниковая метеорология. Эта наука разрабатывает методы изучения атмосферы из космоса. За сорок с лишним лет, которые прошли после запусков первых искусственных спутников Земли, учеными накоплен огромный материал и приобретен огромный опыт использования спутниковой метеорологической информации для изучения нашей атмосферы.

Синоптическая метеорология. Это наука, изучающая закономерности изменения погоды и возможности ее предсказания. Основным методом этой дисциплины является синоптический метод, который заключается в анализе атмосферных процессов с помощью синоптических карт или других карт погоды. Эти карты представляют собой географические карты с нанесенными на них данными метеорологических наблюдений и измерений за один и тот же срок. К синоптической метеорологии следует отнести и *долгосрочные прогнозы погоды*, которые уже сформировались как самостоятельная наука, самостоятельная дисциплина.

Радиолокационная метеорология. Радиолокационная метеорология это наука, которая занимается исследованием процессов в атмосфере с помощью специальных радиолокационных станций. Радиолокационные станции в метеорологии можно ис-

пользовать для изучения и исследования зон осадков, гроз, атмосферных фронтов и других явлений.

Климатология. Это учение о закономерностях формирования климата в различных географических районах. Климатом называют многолетний, характерный для данного района режим погоды, обусловленный притоком солнечной радиации, свойствами земной поверхности и атмосферной циркуляцией. В последнее время в климатологии большое внимание уделяется проблемам изменения климата и динамической климатологии.

Прикладная метеорология. Задачей этой научной дисциплины является разработка методов обеспечения различных отраслей хозяйства такой информацией о погоде и в таком количестве, чтобы эта отрасль смогла до минимума свести свои потери от погодных условий. Сейчас уже можно говорить о существовании агрометеорологии, авиационной метеорологии, медицинской метеорологии (биометеорологии), метеорологии для наземного транспорта, военной метеорологии и т.д. Как говорится, «на выходе» экономическая метеорология, спортивная метеорология, метеорология для деловых людей и пр., и пр.

1. СТРОЕНИЕ И СОСТАВ АТМОСФЕРЫ

Атмосфера представляет собой механическую смесь газов. Основными газами, из которых и состоит наша атмосфера, являются: азот (N_2), кислород (O_2) и аргон (Ar). Полагают, что их количество можно считать постоянным. Кроме того, в состав атмосферного воздуха входят в переменных количествах водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2) и озон (O_3). В очень небольшом количестве в атмосфере присутствуют такие газы как водород, гелий, неон, ксенон, криптон, метан, а также ряд других природных и промышленных газов.

Если из атмосферы убрать переменные составляющие, то на долю основных газов приходится 99,97% от объема всей атмосферы (азот — 78,09%, кислород — 20,95%, аргон — 0,93%), а на долю остальных газов — всего 0,03%. С одной стороны, это очень мало, однако, с другой стороны, даже такого количества «остальных газов» достаточно для того, чтобы их влияние на различные процессы на Земле было заметным. В процентном отношении состав воздуха практически не меняется до высот более 25-30 км.

Количество углекислого газа в атмосфере колеблется, так как зависит от процессов дыхания, горения и наличия растительности в данном регионе. Содержание углекислого газа в больших городах и промышленных центрах несколько больше 0,04% (в сельской местности — около 0,02%). Содержание углекислого газа в атмосфере ночью больше, чем днем, так как растения в темноте перестают усваивать углекислый газ.

Водяной пар в атмосфере содержится в большем количестве, чем углекислый газ. Его количество колеблется в значительных пределах и может меняться от 0,2 до 4,0%.

Озона в атмосфере еще меньше. В процентном отношении озон составляет всего 10^{-6} % общего объема атмосферы, но это тоже очень важный газ. Без него на земле изменилась, а может, и пропала бы, вся жизнь.

Переменные составляющие атмосферного воздуха имеют огромное значение потому, что очень сильно поглощают радиацию (углекислый газ и водяной пар — инфракрасную, излучаемую земной поверхностью и атмосферой, а озон — ультрафиолетовую, поступающую на верхнюю границу атмосферы), и тем самым оказывают существенное влияние на температурный режим земли и атмосферы.

Воздух, не содержащий водяного пара, называют сухим, а механическую смесь сухого воздуха и водяного пара называют влажным воздухом.

К газам атмосферного воздуха в естественных условиях всегда примешаны твердые и жидкие взвешенные частицы (атмосферные аэрозоли), а часть молекул воздуха ионизирована.

Вертикальная протяженность атмосферы составляет около 2000 км, однако половина всей ее массы находится в нижнем пятикилометровом слое, 75% массы — в слое до 10 км, 90% массы — в слое до 16 км и 95% массы — в слое до 20 км. Резкой верхней границы атмосферы не существует — она просто постепенно переходит в межпланетное пространство.

Незначительная вертикальная протяженность основного (по массе) слоя атмосферы по сравнению с ее горизонтальной протяженностью приводит к тому, что и вертикальные масштабы наблюдаемых в атмосфере явлений и процессов оказываются значительно меньше их горизонтальных масштабов. Метеорологические объекты имеют горизонтальные размеры в сотни и тысячи километров, а по вертикали распространяются всего на несколько километров.

По своим физическим свойствам атмосфера неоднородна как по горизонтали, так и по вертикали. По горизонтали атмосферу земли «делают» на различные воздушные массы, характеристики которых зависят от района формирования этой массы, а по вертикали — на пять основных слоев, которые называют «сферами».

О различных воздушных массах мы поговорим с вами в последующих главах этой книги. Основной характеристикой каждого слоя атмосферы является распределение в нем (по вертикали) температуры воздуха.

Самый нижний слой атмосферы называется *тропосферой*. Этот слой простирается до высоты 10-12 км в умеренных широтах, до высоты 8-10 км в полярных областях и до высоты 16-18 км в тропиках. Тропосфера в большей степени, чем другие слои атмосферы, подвержена влиянию земной поверхности. В тропосфере наблюдается постоянное и постепенное убывание температуры воздуха с высотой. Это связано с тем, что тропосфера получает тепло главным образом от поверхности земли, поглощающей солнечную радиацию. Поэтому, совершенно очевидно, что чем дальше от земной поверхности находится воздух, тем он холоднее.

Вследствие неравномерного распределения тепла и массы воздуха в тропосфере в ней происходит постоянное движение как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Восходящие движения воздуха приводят его к охлаждению, конденсации водяного пара и как следствие — к образованию облаков. Кроме того, перемешивание воздуха в тропосфере вызывается механическим воздействием неровностей земной поверхности на перемещающиеся воздушные массы.

В тропосфере сосредоточено примерно 80% всей массы атмосферы. Для нижней части тропосферы характерно сильное запыление воздуха. Самые нижние 50-250 м атмосферы образуют *приземный слой*, а нижний слой атмосферы толщиной в 1-2 км образует *пограничный слой*. Иногда пограничный слой называют нижней тропосферой, слой от 2 до 6-7 км — средней тропосферой, а выше 6-7 км находится верхняя тропосфера. В тропосфере формируются воздушные массы и разделяющие их атмосферные фронты, развиваются и исчезают циклоны и антициклоны, которые иногда распространяются и на следующий слой атмосферы — стратосферу. Переходный слой от тропосферы к стратосфере называется *тропопаузой*.

Тропопауза имеет толщину от нескольких сотен метров до нескольких километров. В этом переходном слое замедляется ха-

ракетное для тропосферы понижение температуры, которая с увеличением высоты может оставаться постоянной (изотермия) или повышаться (инверсия). Под тропопаузой может наблюдаться зона сильных ветров (струйные течения) и несколько ухудшается горизонтальная видимость из-за скопления водяного пара, пыли и других частиц разного происхождения, так как на любой высоте инверсия или изотермия являются задерживающим слоем для всякого рода примесей и вертикальных движений.

Это интересно:

Вполне естественно, что высота тропопаузы в большей степени, чем кого-либо другого, интересует авиацию. Летчики при получении метеорологической информации очень часто интересуются тропопаузой. Такое «трепетное» отношение к этому переходному слою атмосферы, скорее всего, не необходимость, а дань моде и уважение старых традиций. Все дело в том, что после появления первых реактивных самолетов в 50-х годах прошлого столетия военным летчикам платили за выполнение полета в стратосфере. Плата была заметной: 1 рубль за минуту стратосферного полета. Если учесть, что в те годы зарплата летчика не превышала 300 рублей, а самолет мог находиться в стратосфере до 4 часов и более, то становится понятным интерес летчика к высоте тропопаузы. Ведь, если заданная высота полета 11000 м, а высота тропопаузы 10900 м, то получи свои 240 рублей за стратосферный полет, а если наоборот, то, извините, летчику ничего не полагается. Вот с этих пор и «полюбили» летчики тропопаузу.

И еще одно интересное обстоятельство. Если вы летите в самолете, а полет выполняется на высоте, близкой к высоте тропопаузы, то тропопаузу можно увидеть своими глазами. Под тропопаузой небо будет белесым, почти серым, а выше тропопаузы — прозрачным, синим или даже почти фиолетовым. Граница между «серым и синим небом» видна очень хорошо. Это и есть тропопауза. Зная это, вы можете «убить» своих знакомых и незнакомых попутчиков, показав им тропопаузу.

Стратосфера — это слой атмосферы, находящийся на высотах от верхней границы тропосферы (от тропопаузы) до высоты 45-50 км. Здесь температура до высоты 25-30 км остается практически постоянной, а затем растет, и на ее верхней границе достигает значений, близких к 0°C. Распределение температуры в стратосфере и ее колебания в основном определяются слоем озона, максимальное содержание которого отмечается на высотах 22-25 км, а верхняя граница озонового слоя как раз находится на высоте около 50 км.

До недавнего времени считалось, что стратосфера является достаточно спокойным слоем атмосферы, так как на этих высотах атмосфера стратифицирована устойчиво. Это значит, что в стратосфере не должно быть вертикальных движений воздуха, облаков, сильных ветров, сильной турбулентности и других неблагоприятных явлений. Однако оказалось, что это не так. И стратосферные струйные течения, и резкие потепления, и сильная турбулентность, и даже так называемые «перламутровые облака» на высотах 20-30 км наблюдаются в стратосфере.

Мезосфера располагается на высотах 50-80 км. Для этого слоя характерно падение температуры воздуха с высотой (озона-то здесь уже нет), которая достигает минимума (-80 , -90°C) на верхней границе слоя. Вблизи верхней границы мезосферы иногда образуются тонкие облака, которые называют «серебристыми». Причины их образования до конца пока не изучены.

Между стратосферой и мезосферой располагается переходный слой — *стратопauза*. Она находится на той высоте, где температура воздуха на высотах около 50 км достигает максимума.

Это интересно:

Мезосфера — самый «тяжелый» слой для изучения атмосферы. Дело в том, что тропосферу и стратосферу ученые изучают с помощью радиозондирования. На высотах в 200-300 км атмосферу можно изучать с помощью искусственных спутников Земли, с помощью ракетного зондирования, а вот слой 50-80 км изучать почти невозможно — нет надлежащей аппаратуры. Отечественная и зарубежная наука и приборостроение сейчас прилагают большие усилия к тому, чтобы «справиться с этим капризным слоем атмосферы».

Между мезосферой и следующим по высоте слое атмосферы — *термосферой* расположена мезопauза. Это та высота, на которой в распределении температуры с высотой наблюдаются минимальные значения температуры.

Термосфера представляет собой слой большой вертикальной мощности, в котором температура воздуха непрерывно повышается. Этот слой простирается от высоты 80 км (мезопauзы) до высоты около 450-500 км. Повышение температуры воздуха с высотой объясняется поглощением коротковолновой части лучистой энергии Солнца. При этом происходит распад молекул кислорода и азота на атомы. Мы уже говорили выше, что состав атмосферы до высоты примерно 25-30 км практически одинаков. Выше этой высоты молекулы кислорода и азота распадаются на атомы,

а следовательно, в термосфере состав атмосферы уже не тот, что в нижележащих слоях. Характерной особенностью термосферы является наличие в ней большого количества электрически заряженных частиц — ионов, поэтому при рассмотрении электрических свойств термосферы ее часто называют «ионосферой».

Выше уровня 450-500 км находится самый верхний слой атмосферы — экзосфера, которая отделена от термосферы термопаузой. Плотность воздуха в этом слое атмосферы очень мала, поэтому атомы газов имеют огромные скорости, позволяющие им преодолевать силу земного притяжения и покидать атмосферу Земли, улетая в межпланетное пространство.

Это интересно:

Высокая электрическая проводимость ионосферы оказывает большое влияние на распространение радиоволн. Сама же проводимость зависит от состояния ионосферы, географического положения района, времени года и времени суток и солнечной активности. Полярные сияния и магнитные бури, которые мы наблюдаем, а иногда и чувствуем на земле, обязаны своим происхождением ионосфере и повышенной солнечной активности.

2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ЕДИНИЦЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

В этой главе мы познакомим читателей с метеорологическими параметрами, единицами их измерения и основными метеорологическими приборами, с которыми любой метеоролог сталкивается постоянно в своей практической деятельности.

2.1. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

Атмосферное давление — это давление, которое производит атмосфера на земную поверхность и находящиеся в атмосфере предметы. В каждой точке атмосферы атмосферное давление равно весу столба воздуха, расположенного выше данной точки (до верхней границы атмосферы) и имеющего основание, равное единице.

На уровне моря атмосферное давление близко к тому давлению, которое производит столб ртути высотой 760 мм. Атмосферное давление, эквивалентное давлению ртутного столба высотой 760 мм при температуре 0°C, равно силе, с которой масса $(76 \cdot 13,596)$ г давит на поверхность в 1 см^2 ($13,596 \text{ г/см}^3$ — удель-

ный вес ртути при температуре 0°C).

Так как известно, что сила это произведение массы на ускорение, то в системе СГС это давление будет равно

$$1033,3 \cdot 980,665 = 1013250 \text{ дин/см}^2 = 1013,25 \text{ мбар.}$$

Известно также, что 1 дина — это сила, которая сообщает массе в 1 г ускорение в 1 см/с^2 . Размерность силы в системе СГС [$\text{г}\cdot\text{см/с}^2$].

В системе СИ давление 1013,25 мбар эквивалентно 101325 Па или 1013,25 гПа, а за единицу силы принят ньютон — это такая сила, которая массе 1 кг сообщает ускорение в 1 м/с^2 . Размерность силы в системе СИ [$\text{кг}\cdot\text{м/с}^2$].

Отсюда вытекают и основные единицы измерения давления:

$$1 \text{ бар} = 1000000 \text{ дин/см}^2 = 100000 \text{ Па};$$

$$1 \text{ мбар} = 0,001 \text{ бар} = 1000 \text{ дин/см}^2 = 100 \text{ Па} = 1 \text{ гПа};$$

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ н/м}^2 = 0,01 \text{ мбар};$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 1013250 \cdot 760 = 1333,3 \text{ дин/см}^2 = 4/3 \text{ мбар или } 4/3 \text{ гПа, а следовательно, } 1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$$

В настоящее время на практике наиболее распространенными величинами измерения давления в метеорологии являются гектопаскаль (гПа) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).

Кроме перечисленных единиц измерения давления существуют также техническая атмосфера (ат или кГ/см^2): $1 \text{ ат} = 98066,5 \text{ н/м}^2$ и физическая атмосфера (атм): $1 \text{ атм} = 101325 \text{ н/м}^2$ (760 мм рт. ст.).

Это интересно:

— с увеличением высоты над любой точкой земного шара атмосферное давление всегда понижается и ни при каких обстоятельствах не бывает наоборот;

— на каждого человека, исходя из площади его тела, атмосфера «давит» силой около 15 тонн!

Мы не замечаем этой тяжести потому, что внутри каждого из нас существует такое же давление, как и в окружающем нас воздухе. Если вдруг по каким-то причинам внешнее давление резко упадет (произойдет разгерметизация кабины самолета, например), то внутреннее давление, выравниваясь с внешним, попытается «разорвать» человека. Вот поэтому при полетах в стратосфере военные летчики выполняют полеты в специальных высотно-компенсирующих костюмах;

— во всех инструкциях и полезных советах говорится о том, что если по каким-либо причинам следует ожидать очень громкого звука, например, выстрела из пушки, то стоящим рядом людям рекомендуют приоткрыть рот. Такая рекомендация дается для

того, чтобы при сильном звуке уменьшить нагрузку на барабанные перепонки. Звуковая волна от взрыва в этом случае через ушную раковину будет воздействовать на внешнюю поверхность перепонки, а через приоткрытый рот — на внутреннюю. Тем самым будет снята излишняя звуковая нагрузка на наши уши; — пожалуй, каждый из вас, читатель, видел или испытал на себе, как ставят так называемые медицинские банки. Напомню: сначала зажигают спиртовку, затем на короткое время перевернутую банку держат над огнем и только после этого прикладывают к нужному месту на теле. Банка пристает очень крепко и все потому, что в то время, когда ее держат над огнем, внутри банки резко увеличивается температура, а, следовательно, уменьшается давление. Поэтому более высокое внешнее давление как бы «приклеивает» банку к телу. На медицинских аспектах банок мы останавливаться не будем.

Атмосферное давление измеряется с помощью ртутных барометров или барометров — anerоидов. Для оценки хода изменения давления, т.е. его записи, используются барографы.

2.2. ПЛОТНОСТЬ ВОЗДУХА.

Плотность воздуха это отношение его массы к объему, который он занимает. Обычно плотность воздуха выражается в г/м³. Из уравнения состояния газов для сухого воздуха можно определить его плотность. Она будет равна

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{p}{R(273+t)}, \quad (2.1)$$

где $R = 287 \text{ м}^2/\text{с}^2 \cdot \text{К}$ или $\text{дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ — удельная газовая постоянная сухого воздуха;

p — атмосферное давление, гПа;

t — температура воздуха, °С.

При $p = 1000 \text{ гПа}$ и $t = 0^\circ \text{С}$ плотность воздуха $\rho = 1276 \text{ г/м}^3$ или $1,276 \text{ кг/м}^3$. Для других значений p и t плотность воздуха может быть определена по формуле:

$$\rho = 1276 \frac{p}{1000} (1 - \alpha t), \quad (2.2)$$

где $\alpha = 1/273$.

Для решения ряда практических задач вводится понятие относительной плотности воздуха (Δ), которая равна отношению

фактической плотности (ρ_{Φ}) к плотности воздуха у земли в стандартных условиях ($\rho_{0,ст}$).

$$\Delta = \rho_{\Phi} / \rho_{0,ст} \quad (2.3)$$

Это интересно:

— в отличие от обязательного уменьшения атмосферного давления с высотой, плотность воздуха при увеличении высоты иногда может увеличиваться. Для этого необходимо, чтобы с увеличением высоты очень резко уменьшалась температура воздуха;
— однажды в начале двадцатого века Ф.И. Шаляпин пел в каком-то шикарном ресторане в Италии. Публика была в восторге, и после окончания концерта раскупила все, что находилось в том зале, где пел Шаляпин. Одному богатому купцу ничего не досталось — прозевал. Тогда, находясь в состоянии «сильного подпития», он сказал хозяину ресторана, что купит воздух в этом зале. Хозяин, естественно, согласился и быстренько прикинул, что объем зала, где был концерт, равен 5000 кубометрам. Испугавшись такого большого числа «5000», но, не желая отказываться от сделки, богатый купчик сказал, что не будет покупать воздух на кубометры, а купит его по той же цене, но за килограммы. Хозяин сразу же согласился на эту замену и в результате получил за воздух почти на треть больше денег, чем думал в самом начале. Не знал богатый купец, что кубометр воздуха весит значительно больше килограмма.

Плотность атмосферного воздуха на практике никогда не измеряется. На метеорологических станциях измеряют атмосферное давление и температуру воздуха, и по этим данным по формуле (2.2) определяют плотность.

2.3. ГЕОПОТЕНЦИАЛ

Под *геопотенциалом* понимается потенциальная энергия (Φ) единицы массы (удельная потенциальная энергия) относительно уровня моря, определяемая положением этой массы в поле силы тяжести:

$$d\Phi = g \, dz, \quad \Phi = \int_0^z g \, dz. \quad (2.4)$$

Геопотенциал в некоторой точке атмосферы численно равен той работе, которую нужно затратить для того, чтобы поднять единицу массы в поле силы тяжести от уровня моря до данной точки. Геопотенциал на уровне моря принимается равным

нулю. Размерность геопотенциала соответствует размерности удельной работы: $[\Phi] = \text{м}^2/\text{с}^2$.

Однако эта единица не совсем удобна для практического применения. Если разделить уравнение (2.4) на число 9,8, то получим величину

$$H = \frac{\Phi}{9,8} = \frac{g}{9,8} \int_0^z dz.$$

Так как $g \cong 9,8$, то величина H численно равна высоте в обычных метрах, хотя ее размерность осталась прежней, т.е. $\text{м}^2/\text{с}^2$. Поэтому единица величины H получила название геопотенциальный метр.

Значение геопотенциала в той или иной точке любой изобарической поверхности (поверхности одинакового давления), выраженное в геопотенциальных метрах (гп.м), является геопотенциальной высотой данной поверхности. Значительно чаще, чем в геопотенциальных метрах, высота изобарических поверхностей измеряется в десятках геопотенциальных метрах (декаметрах). В сокращенном виде в последнее время десятки геопотенциальных метров обозначаются *гам*.

2.4. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

Как известно, температура является мерой внутренней энергии тела, поэтому *температурой воздуха* является та температура, которую показывает термометр в условиях его полного контакта с атмосферным воздухом.

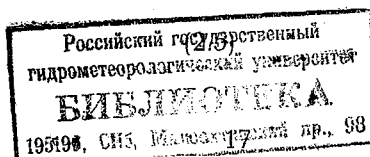
Для измерения температуры существуют разные температурные шкалы. Каждая шкала содержит обычно две реперных точки. Общепринятыми реперными точками во всех шкалах являются точка (температура) таяния льда и точка (температура) кипения воды.

На практике используются следующие температурные шкалы:

- стоградусная шкала или шкала Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) с реперными точками 0° и 100° ;
- шкала Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$ или $^{\circ}\text{F}$) с реперными точками 32° и 212° .

Для перевода значений температуры из одной шкалы в другую следует пользоваться формулами:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32);$$



$$t^{\circ}F = \frac{9}{5}t^{\circ}C + 32; \quad (2.6)$$

- абсолютная шкала с реперными точками 273 К и 373 К (шкала Кельвина);
- шкала Реомюра ($^{\circ}R$) с реперными точками 0° и 80° (в настоящее время эта шкала практически не употребляется).

Кроме указанных выше температурных шкал, существуют международная температурная шкала, термодинамическая температурная шкала и эмпирическая температурная шкала, однако их описание выходит за рамки данной книги.

Это интересно:

- если читая рассказы Джека Лондона о жизни на Аляске, вы обратите внимание на очень сильный холод в тех краях — не удивляйтесь, так как Джек Лондон во всех своих рассказах температуру воздуха указывал в градусах Фаренгейта, а по стоградусной шкале это практически обычные зимние температуры для заполярных районов, правда, все равно очень холодно;
- к стоградусной шкале измерения температуры Цельсий никакого отношения не имеет, но почти во всем мире стоградусную шкалу называют шкалой Цельсия;
- на земном шаре в любой день и любой час можно найти два пункта, в которых температура воздуха у земли отличалась бы более, чем на 100 (сто!) градусов;
- самая высокая температура в мире ($58,0^{\circ}C$) отмечалась в Мексике, самая низкая ($-89,2^{\circ}C$) — на станции Восток в Антарктиде;
- в России в Оймяконе (Якутия) было $-71,8^{\circ}C$, а в низовьях Волги $+42,3^{\circ}C$;
- однажды, после сравнительно теплой зимы в Якутии, один журналист написал, что в прошедшую зиму ртутный столбик термометра в Верхоянске не опускался ниже $-53^{\circ}C$. В чем журналист допустил неточность, если все так и было? Оказывается, журналист показал свою полную «физическую и метеорологическую» неграмотность. Дело в том, что ртуть замерзает при температуре $-38,9^{\circ}C$, и ртутный столбик в принципе не может опуститься ниже этой отметки. Более низкие температуры измеряют спиртовым, а не ртутным термометром. Вот как нужно быть осторожным, когда гонишься за «красным словом».

Температура воздуха на метеорологических станциях измеряется различными термометрами. Они могут быть ртутными, спиртовыми или биметаллическими, но обязательно должны находиться в психрометрической будке (в тени) на высоте 2 м от поверхности. Ну а по назначению термометры бывают срочны-

ми (измеряют температуру воздуха в сроки наблюдения), максимальными, минимальными, почвенными и т.д.

2.5. СКОРОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА.

Ветром называется движение воздуха относительно земной поверхности. Обычно под ветром подразумевается горизонтальная составляющая этого движения. Движение воздуха (ветер) происходит под воздействием силы барического градиента, силы трения, отклоняющей силы вращения земли и центробежной силы. Движущей силой является сила барического градиента.

Направление ветра — это направление, откуда дует ветер. Обычно направление ветра измеряют в угловых градусах или в румбах горизонта. При этом чаще всего используют восьмирумбовую шкалу (иногда применяется 4-х и 16-ти румбовые шкалы).

Скорость ветра измеряется в м/с, км/ч, узлах или условных единицах (баллах). Величина скорости ветра, измеряемая в м/с или км/ч пояснений не требует. Скорость ветра, равная одному узлу, соответствует одной морской миле (1852 м) в час. Приблизленно один узел равен 0,5 м/с.

Для определения скорости (силы) ветра в условных единицах обычно используется 12-ти балльная шкала Бофорта. Она основана на визуальной оценке действия ветра на наземные предметы или состояние моря.

Перевод данных шкалы Бофорта в скорость ветра в м/с приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Перевод скорости ветра из шкалы Бофорта в скорость ветра в м/с.

Балл шкалы Бофорта	м/с	Балл шкалы Бофорта	м/с
0	0 – 0,2	7	13,9 – 17,1
1	0,3 – 1,5	8	17,2 – 20,7
2	1,6 – 3,3	9	20,8 – 24,4
3	3,4 – 5,4	10	24,5 – 28,4
4	5,5 – 7,9	11	28,5 – 32,6
5	8,0 – 10,7	12	> 32,6
6	10,8 – 13,8		

Существуют эмпирическая формула перевода скорости ветра в баллах в скорость ветра в м/с.

$$U = 2B - 1, \quad (2.7)$$

где: B — балл шкалы Бофорта.

Эта формула справедлива до значения $V \leq 8$.

Для перевода скорости ветра в узлы используется другая формула:

$$U = 1,87\sqrt{B^3}, \quad (2.8)$$

которая справедлива для всей шкалы.

Кроме того, при визуальных судовых наблюдениях часто используют следующие понятия:

- штиль $V = 0$
- умеренный ветер $V = 4$
- сильный ветер $V = 6$
- шторм $V = 10$
- ураган $V = 12$.

В настоящее время наиболее распространенными единицами измерения ветра являются: для направления ветра — измерение направления ветра в угловых градусах, для скорости ветра у земли — скорость ветра в м/с или в узлах, для скорости ветра на высотах — в км/ч.

Международная организация гражданской авиации (МОГА) или, как ее называют за рубежом, ICAO (International Civil Aviation Organization) рекомендует всем странам — членам ICAO для измерения скорости ветра у земли и на высотах использовать только одну единицу измерения — км/ч.

Это интересно:

— известно, что ветер это движение, т.е. перемещение масс воздуха. Мы мало задумываемся над тем, какие на самом деле массы воздуха переносят силы барического градиента. А между тем, если скорость ветра всего 3 м/с, то за 30 секунд каждого из нас «обдувает» масса воздуха, равная весу нашего тела. Действительно, у каждого из нас рост не меньше 1,5 м, а ширина плеч не менее 30 см. Это значит, что площадь нашего тела около $0,5 \text{ м}^2$. Следовательно, за одну секунду при скорости ветра в 3 м/с нас «обдувает» примерно $1,5 \text{ м}^3$ воздуха, а за 30 секунд — 45 м^3 . Если учесть, что один кубометр воздуха весит 1276 г, то общая масса воздуха, которая коснется каждого из нас за полминуты, составит чуть больше 57 кг. А это как раз ваш вес.

Для измерения направления и скорости ветра на метеостанциях используются различные стационарные и переносные приборы. Направление ветра измеряют с помощью флюгера, а скорость ветра — с помощью вертушки. Обычно ветер у земли изме-

ряют на высоте 6-10 м. В настоящее время наиболее распространенными приборами для определения ветра являются приборы М-63 и М-64.

2.6. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА.

Под *влажностью воздуха* понимается содержание водяного пара в атмосфере, которое характеризуется целым рядом величин. Основными из них являются абсолютная влажность, дефицит влажности, относительная влажность, отношение смеси, точка росы, массовая доля водяного пара (удельная влажность) и упругость водяного пара. Рассмотрим отдельные характеристики влажности более подробно.

Абсолютная влажность (а) — одна из основных характеристик влажности. Она соответствует плотности водяного пара в воздухе, выраженной числом граммов водяного пара, содержащимся в 1 м³ воздуха (г/м³).

Абсолютная влажность связана с *упругостью водяного пара (е)*, которая показывает парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе. Упругость водяного пара измеряется в гектопаскалях (миллибарах) или в миллиметрах ртутного столба, как и давление воздуха.

В тех случаях, когда упругость водяного пара выражена в гПа, связь между абсолютной влажностью и упругостью водяного пара определяется соотношением

$$a = 217 \frac{e}{T} = \frac{0,8e}{1 + \alpha t}. \quad (2.9)$$

При выражении упругости водяного пара в мм рт. ст. формула (2.9) принимает вид

$$a = 289 \frac{e}{T} = \frac{1,06e}{1 + \alpha t}. \quad (2.10)$$

В обеих последних формулах T — температура воздуха (К), t — температура воздуха (°C), а $\alpha = 1/273$.

Массовая доля водяного пара или удельная влажность (s) показывает отношение плотности водяного пара к плотности влажного воздуха или отношение веса водяного пара к весу влажного воздуха в том же объеме. Массовая доля водяного пара зависит от атмосферного давления (p) и упругости водяного пара. Эта зависимость выражается формулой

$$s = \frac{0,623e}{p - 0,377e}, \text{ кг/кг} \quad (2.11)$$

где e и p должны быть выражены в одних и тех же единицах.

На практике массовая доля водяного пара выражается в граммах водяного пара на килограмм влажного воздуха (г/кг) и численно равна

$$s = \frac{623e}{p - 0,377e} \quad (2.12)$$

Отношение смеси (r) представляет собой отношение массы (веса) водяного пара к массе (весу) сухого воздуха в том же объеме, выраженное в граммах водяного пара на килограмм сухого воздуха

$$r = 623 \frac{e}{p - e} \quad (2.13)$$

Точка росы (T_d или τ) — это такая температура, при которой воздух достигает состояния насыщения (по отношению к воде) при данном содержании водяного пара и неизменном давлении. Точка росы практически всегда ниже температуры воздуха. Исключения составляют случаи, когда воздух насыщен. При этом точка росы равна температуре воздуха.

Относительная влажность (R) является отношением фактической упругости водяного пара в атмосфере (e) к упругости насыщающего водяного пара (E) при той же температуре. Она может быть выражена или в процентах, или десятичной дробью, т.е.

$$R = \frac{e}{E} \cdot 100 \% ; \quad \text{или} \quad R = \frac{e}{E} \quad (2.14)$$

Относительную влажность можно также определить как отношение фактической абсолютной или удельной влажности к абсолютной или удельной влажности при насыщении при той же температуре воздуха.

Дефицит влажности (d) это разность между насыщающей и фактической упругостью водяного пара при данных температуре и давлении

$$d = E - e. \quad (2.15)$$

Дефицит точки росы (дефицит температуры точки росы) показывает разность между фактической температурой воздуха и температурой точки росы. Численно он равен

$$D = t - \tau. \quad (2.16)$$

В зависимости от решаемых задач на практике используют различные характеристики влажности. В интересах разработки краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов погоды наибольшее распространение получили такие единицы как абсолютная влажность, массовая доля водяного пара (удельная влажность), точка росы, относительная влажность и дефицит температуры точки росы. О конкретном использовании той или иной единицы измерения влажности при разработке прогнозов погоды будет указано ниже.

Это интересно:

— известно, что водяной пар (не вода!) легче сухого воздуха. Поэтому, если вы хотите поскорее высушить какой-нибудь сосуд, например, банку, то ее нужно поставить так, чтобы горловина банки была направлена вверх. В этом случае более легкий водяной пар имеет возможность беспрепятственно подниматься вверх, и банка высохнет быстрее, чем при любом другом ее положении.

Для измерения влажности воздуха используются гигрометры, гигрографы, а также психометры различной конструкции. В психрометре есть два термометра: сухой и смоченный, по показаниям которых с помощью психрометрических таблиц определяются или рассчитываются все характеристики влажности воздуха.

2.7. ОБЛАЧНОСТЬ

Скопление капель воды и кристаллов льда, взвешенных в воздухе, называется облаком (облачностью). В специализированных прогнозах погоды в качестве характеристик облачности указывается их количество, форма и высота нижней и верхней границы. Если форма облаков единиц измерения не имеет, то остальные ее характеристики могут быть измерены количественно.

Для определения количества облаков могут использоваться баллы или октанты (в авиационных прогнозах погоды используются октанты, а практически во всех остальных прогнозах - баллы). При измерении количества облаков в баллах весь небосвод делится на 10 частей, и степень закрытия неба облаками может изменяться от 0 (ясная погода) до 10 баллов (сплошная облачность). В тех случаях, когда количество облаков измеряют в октантах, то количество облаков меняется от 0 до 8 октантов.

Перевод количества облаков из баллов в октанты и обратно осуществляется следующим образом:

Октанты	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Баллы	0	1	2-3	4	5	6	7-8	9	10

Высота нижней и верхней границы облаков измеряется в метрах или километрах, а в ряде стран могут быть указаны даже футы. Если высоты облаков указываются в метрах, то обычно высота нижней границы облаков округляется до десятков, а верхней границы — до сотен метров.

Иногда в прогнозах погоды и в обиходе для определения количества облаков используются следующие выражения:

- безоблачно - 0-1 балл облаков;
- малооблачно — 2-3 балла облаков;
- переменная облачность - 4-7 баллов облаков;
- значительная облачность - 8-9 баллов облаков;
- сплошная облачность - 10 баллов облаков.

Это интересно:

— иногда бывает даже трудно себе представить, при какой сложной погоде летают самолеты гражданской авиации. А между тем на больших аэродромах современные самолеты могут производить посадку при высоте нижней границы облаков в 30 м. Представьте себе, что перед вами стоит четырнадцатизэтажный дом. Высота каждого этажа примерно равна трем метрам. А это значит, что самолет может произвести безопасную посадку на аэродроме даже в том случае, когда одиннадцатый этаж дома будет в облаках.

Количество и форму облаков метеоролог всегда определяет визуально. Высота нижней границы облачности может быть определена с помощью измерителя высоты облаков (ИВО), лазерного измерителя высоты облаков (ЛИВО) или с помощью регистратора высоты облаков (РВО-2). Все перечисленные приборы определяют время прохождения светового луча от прожектора, установленного на земле, до облака и обратно. Шкалы приборов проградуированы в значениях высоты облачности, и по времени прохождения луча «туда и обратно» определяется высота облаков.

2.8. ВИДИМОСТЬ

Под *видимостью* (метеорологической дальностью видимости) понимается наибольшее расстояние, с которого можно раз-

личить (обнаружить) на фоне неба вблизи горизонта черный объект с угловыми размерами больше 15 минут. В ночное время видимость - это расстояние, на котором при существующей прозрачности атмосферы такой объект можно было бы обнаружить в дневное время.

В зависимости от значений видимость измеряется в метрах с округлением до десятков или сотен метров или в километрах. Кроме того, визуальная оценка видимости может производиться в условных балах. Шкала видимости в балах выглядит следующим образом:

Баллы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Видимость, км	< 0,05	0,05-0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1-2	2-4	4-10	10-20	20-50	>50

В настоящее время определение видимости в балах практически не производится.

Представляет интерес табл. 2.2, в которой приводятся значения видимости при визуальной оценке интенсивности того или иного метеорологического явления.

Таблица 2.2

**Значения видимости (м) при различной интенсивности
явлений погоды**

Атмосферное явление	Интенсивность явления		
	Сильная	Умеренная	Слабая
Ливневый дождь	500 - 1000	2000 - 4000	4000 - 10000
Ливневый снег	100 - 500	500 - 1000	1000 - 4000
Метель	< 50	50 - 500	500 - 1000
Морось	1000 - 2000	2000 - 4000	4000 - 10000
Общая метель	< 1000	1000 - 2000	2000 - 4000
Снег, крупа	500 - 2000	2000 - 4000	4000 - 10000
Дымка	1000 - 2000	2000 - 4000	4000 - 10000
Мгла	< 1000	1000 - 2000	2000 - 6000
Низовая метель	1000 - 2000	2000 - 4000	4000 - 10000
Пыльная буря	< 1000	1000 - 2000	2000 - 4000
Туман	50 - 200	200 - 500	500 - 1000

Значений видимости, приведенных в таблице, следует придерживаться при консультации потребителей о фактической и ожидаемой погоде.

Это интересно:

— по существующему положению в тех случаях, когда видимость на метеостанции определяется визуально, потребителям указывается видимость до самого дальнего видимого ориентира. На северо-востоке России есть пункты (метеостанции), где из-за гео-

графических условий имеется очень небольшое количество ориентиров видимости, в результате чего иногда могут возникать не только курьезные, но и порой конфликтные ситуации. Например, на одном из аэродромов на севере Дальнего Востока можно проводить полеты только при видимости три и более километров, а ориентиры видимости практически отсутствуют. Есть только жилой дом на расстоянии 2 км и сопка на удалении 20 км. Так вот, когда на аэродроме начинает идти слабый снег, и сопка становится не видна, то наблюдатель обязан указывать видимость только 2 км (до самого дальнего видимого ориентира), даже если она больше 10 км. А при видимости в 2 км на аэродроме нельзя летать. Таким образом возникает конфликтная ситуация между метеослужбой и специалистами гражданской авиации, которая через достаточно продолжительное время была разрешена после организации инструментальных наблюдений за видимостью.

Кроме визуального определения видимости с помощью установленных или естественных ориентиров на метеорологических станциях используются чаще всего приборы РДВ (регистраторы дальности видимости) или приборы ФИ-2. Принцип действия этих приборов основан на том, что в приемное устройство прибора попадают одновременно два луча: один замыкается в приборе, а второй проходит определенное расстояние по горизонтали в атмосфере (обычно 100 м), отражается от установленного на этом расстоянии зеркала и возвращается в приемное устройство прибора ослабленным ухудшенной прозрачностью атмосферы. Сравнивая интенсивность этих лучей сам прибор определяет прозрачность атмосферы, а следовательно, и видимость.

2.9. ОСАДКИ

В качестве характеристик осадков используется обычно два критерия: вид и интенсивность. Вид осадков всегда определяется визуально, а единицей измерения их интенсивности является величина слоя осадков, выпадающих за единицу времени (как правило, за 1 час или за сутки). Сама же величина слоя выпавших осадков всегда измеряется в миллиметрах. Иногда измеряют количество осадков, выпавших не за единицу времени, а при прохождении или сильного ливня, или атмосферного фронта.

Кроме количественной оценки интенсивности осадков существует визуальная оценка их интенсивности, которая производится по ухудшению видимости в явлениях. Интервалы значе-

ний видимости при различной интенсивности осадков приведены выше в табл. 2.2.

Это интересно:

— трудно себе представить много или мало выпало осадков, если известно, что их выпало, предположим, 15 мм. А если немножко поразмыслить, то оказывается, что 15 мм осадков это такое их количество, что на каждый квадратный метр поверхности приходится 1,5 ведра воды. Теперь уже можно говорить, что такое количество осадков для одного дождя можно считать достаточно большим;

— самое «мокрое место» в мире находится в Индии на южных склонах Гималаев. Там за год выпадает 14000 мм осадков! Это очень много!

— по классификации Э.Ю. Берга ливень - это дождь с интенсивностью равной или более 0,38 мм/мин продолжительностью не менее 10 минут;

— снегопад с интенсивностью не менее 7 мм за 12 часов является опасным явлением погоды для автотранспорта.

Для определения количества выпавших осадков используются специальные осадкомеры, с помощью которых осадки сначала скапливаются в специальном стакане, если это снег, то сначала его растапливают, а потом всегда в жидком состоянии эти осадки переливают в мензурку и определяют их количество. Для определения высоты снежного покрова используется специальная снегомерная линейка, пользование которой пояснять не требуется.

2.10. ОБЛЕДЕНЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ И ГОЛОЛЕД

Обледенением называется отложение льда на внешней поверхности воздушного судна. Под интенсивностью обледенения понимается масса льда, отлагающегося в полете на единице поверхности в единицу времени. В авиации за интенсивность обледенения принимают обычно толщину слоя льда, отлагающегося в единицу времени. В качестве единицы измерения интенсивности обледенения используется величина I , имеющая размерность [мм/мин].

Обледенение считается слабым, если $I < 0,5$ мм/мин, умеренным, если $0,5 < I < 1,0$ мм/мин и сильным, если $I > 1,0$ мм/мин.

Гололед — отложение льда на предметах или на поверхности земли, обусловленное осаждением и замерзанием переохлажденных капель или капель при отрицательных температурах воздуха.

Интенсивность гололеда определяется толщиной (мм) слоя отложившегося льда. Если слой льда меньше 5 мм, то гололед отмечается как слабый, если слой льда 5-20 мм — умеренный, 20-50 мм — сильный и больше 50 мм — очень сильный гололед. В соответствии с принятой классификацией гололед с интенсивностью более 20 мм относится к опасным явлениям погоды.

Это интересно:

— известны случаи, когда после посадки самолета на нем наблюдался слой льда толщиной в 13 см. Если представить, что так обледенел самолет Ту-154, площадь крыльев которого равна 200 кв. м, а площадь всего самолета — около 500 кв. м, то на этом самолете был бы «привезен» лед, объемом в 65 кубометров и весом около 50 тонн! Но очень хорошо, что обледенению подвержены, в основном, только лобовые части самолетов и на самолете установлена антиобледенительная система.

На метеостанциях для измерения гололеда используется так называемый гололедный станок. Он состоит из проводов, натянутых на столбы в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Отложения льда измеряются или по толщине слоя льда на проводах, или по объему воды, получившейся от таяния отложившегося льда.

2.11. ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ, ЭНЕРГИИ И ТЕПЛОТЫ

Единицей работы и энергии в системе СГС (сантиметр, грамм, секунда) является 1 эрг. Эрг — это работа, совершаемая силой в 1 дину (см. п. 1.1) на пути в 1 см. Размерность работы и энергии в системе СГС $[г \cdot см^2 / с^2]$.

В международной системе единиц СИ и в системе МКС (метр, килограмм, секунда) за единицу силы принят 1 джоуль. Размерность джоуля $[кг \cdot м^2 / с^2]$. В соответствии с размерностью 1 Дж = 10^7 эрг.

В технической системе единиц МКГСС (метр, килограмм-сила, секунда) единицей работы является 1 килограммометр (1 кг·м), который равен 1 кг·м = 9,81 Дж.

Важной практической единицей работы является ватт-час (вт.ч); 1 вт.ч = 3600 Дж.

Так как теплота является одной из форм энергии, то из этого следует, что единицы измерения теплоты и энергии одинаковы: в системе СГС — 1 эрг, в системах СИ и МКС — 1 джоуль.

На практике широкое распространение получила внесистемная единица теплоты — калория. Одна калория (1 кал) равна ко-

личеству тепла, необходимому для нагрева 1 г воды на 1 градус в интервале температур от 19,5°C до 20,5°C (1 кал = 4, 1868 дж).

2.12. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА И ПРИТОКА ТЕПЛА (ЭНЕРГИИ)

В метеорологии часто используются понятия *потока* и *притока* тепла или энергии. Количество тепла (энергии), проходящее через единицу поверхности в единицу времени называется *потоком* тепла. Эта величина измеряется в дж/с·м² или в ватт/м².

Разность между входящим в некоторый объем воздуха и выходящим из него потоком тепла (энергии) называется *притоком* тепла или энергии. Обычно приток тепла рассчитывается на единицу массы воздуха и поэтому измеряется в дж/с·м²·кг или в ватт/м²·кг.

2.13. ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ

Как известно из физики, мощность это работа в единицу времени, поэтому в системе единиц СГС мощность измеряется в эргах в секунду и имеет размерность [г·см²/с²].

В системе единиц СИ и МКС за единицу мощности принят 1 ватт, равный 10⁷ эрг/с, а в системе МКГСС — 1 кГ·м/с = 9,81 вт.

На практике часто используется так называемая внесистемная единица — лошадиная сила, которая равна: 1 л.с. = 735,5 вт = 75 кГ·м/с.

Это интересно:

— мощность в одну лошадиную силу может развить физически сильный человек в те моменты, когда он почти бегом поднимается вверх по лестнице. На самом деле, если подниматься со скоростью пять ступенек в секунду, (каждая ступенька имеет высоту примерно 20 см), то человек весом в 75 кг как раз и разовьет мощность в одну лошадиную силу.

2.14. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОВЫХ ВЕЛИЧИН

Единицей силы света в системе СИ служит *кандела* (кг), которую до 1970 года называли свечой (св). Кандела — сила света, испускаемого с площади 1/600000 м² сечения полного излучателя, в перпендикулярном к этому сечению направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при нормальном атмосферном давлении.

Единицей светового потока является люмен. 1 люмен (лм) — световой поток, испускаемый точечным источником света с силой света в 1 канделу (свече) в телесный угол, равный 1 стерadianу.

Единицей световой энергии является люмен в секунду (лм·с), а единицей светимости — люмен на квадратный метр (лм/м²).

Освещенность всегда измеряется в люксах (лк). 1 люкс — это освещенность поверхности сферы радиусом в 1 метр, создаваемая находящимся в ее центре точечным источником света, сила света которого равна 1 канделе (свече).

Количество освещения определяется в люксах за секунду (лк·с), а яркость света — в канделах на квадратный метр (кд/м²) или св/м².

2.15. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ

Уровень звукового давления (L) измеряется в белах (б) или децибелах (дб). Этот уровень определяется по формуле (2.17):

$$L = 2k \lg \frac{P_{\text{эфф}}}{P_0^*}, \quad (2.17)$$

где: k-коэффициент пропорциональности, k = 1 при измерениях звукового давления в белах и k = 10 при измерениях в децибелах; $P_{\text{эфф}}$ — эффективное давление звуковой волны; P_0^* - условный порог звукового давления, равный $P_0^* = 2 \cdot 10^{-5}$ н/м². Эту величину иногда еще называют *стандартным порогом слышимости* и определяют для частоты 1000 гц.

2.16. ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБОЗНАЧЕНИЯ КРАТНЫХ ЕДИНИЦ

На практике часто приходится пользоваться не только основными единицами измерения, но и их производными, которые отличаются от основной единицы на несколько порядков. Каждая такая производная единица имеет свое название, но не всегда мы все эти единицы хорошо представляем. Например, ни у кого не вызывает сомнения такая величина как сантиметр или килограмм, но вот что такое пикофарада или гигакалория сразу ответит далеко не каждый. Все приставки для обозначения кратных единиц приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Приставки для обозначения кратных единиц

Наименование	Коэффициент	Сокращенное обозначение	
		Русское	Международное
пико	10^{-12}	п	p
нано	10^{-9}	н	n
микро	10^{-6}	мк	μ
милли	10^{-3}	м	m
санти	10^{-2}	с	c
деци	10^{-1}	д	d
дека	10	да	da
гекто	10^2	г	H
кило	10^3	к	K
мега	10^6	М	M
гига	10^9	Г	G
тера	10^{12}	Т	T

Эти значения кратных единиц, может быть, и не обязательно все знать на память, но такую табличку следует всегда иметь под рукой и уметь ей пользоваться.

Это интересно:

— попробуйте сосчитать, какое количество воды можно нагреть от 0 до 100°С, затратив при этом всего 1 Гкал тепла? (если вы все сосчитали правильно, то у вас должно получиться 10 м³).

2.17. НЕСТАНДАРТНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Иногда, читая старые (и не очень) книги русских и зарубежных авторов, можно встретить не совсем знакомые единицы измерения разных величин. Мы попытались все эти нестандартные единицы русского и зарубежного происхождения собрать вместе. Вот что у нас получилось.

Меры длины:

1 верста	= 1060 м;
1 сажень	= 2,13 м;
1 косая сажень	— расстояние от пятки до конца поднятой с другой стороны руки;
1 аршин	= 0,71 м;
1 локоть	= 0,50 м;
1 пядь	= 20 см;
1 вершок	= 4,4 см;
1 точка	= 0,2 см
1 миля (географическая)	= 7420 м;
1 миля (сухопутная)	= 1609 м;
1 миля (морская)	= 1852,2 м;

цесс происходит непрерывно, однако большой роли в изменении температуры воздуха он не играет. Дело в том, что радиационный баланс подстилающей поверхности и нижних слоев атмосферы днем положительный (тепла приходит больше, чем уходит), а ночью отрицательный (тепла уходит больше, чем уходит);

- за счет тепловой конвекции. При этом объемы более теплого воздуха поднимаются вверх (они легче — вспомните дым от костра), а более холодные опускаются вниз. Таким образом происходит перемешивание воздуха и как следствие — перенос тепла в вертикальном направлении;
- за счет турбулентного потока тепла, при котором происходит наиболее значительное перемешивание воздуха.

Значительный перенос тепла от подстилающей поверхности в атмосферу осуществляется водяным паром. При нагреве поверхности создаются условия для испарения воды. Для того чтобы испарить 1 кг воды требуется 2500 кДж тепла. Конвекция и турбулентные потоки переносят водяной пар в атмосферу, где он конденсируется, выделяя то тепло, которое было затрачено на его испарение.

Теоретическими исследованиями установлено, что основными причинами, приводящими к переносу тепла в атмосфере, являются тепловая конвекция, турбулентность и фазовые превращения воды.

Подстилающая поверхность суши больше нагревается и больше отдает тепла воздуху, чем водная поверхность. Поэтому в теплое время года воздух над сушей оказывается намного теплее, чем над водой. Зимой в ночное время, наоборот, суша выхолаживается больше, чем водная поверхность, и воздух над сушей холоднее. Так как поверхность суши в различных районах неодинакова, то и процессы нагрева почвы и передачи тепла атмосферному воздуху также различны. Особенно сильно сказывается влияние подстилающей поверхности на приземный слой атмосферы, толщина которого колеблется от 20 до 250 м, и особенно на самый нижний слой атмосферы толщиной в 1,0-1,5 м, а, как вам известно, температура воздуха у земли измеряется в психрометрической будке на высоте 2 м.

Суточный ход температуры зависит от хода температуры подстилающей поверхности. С восходом Солнца суша нагревается до тех пор, пока не установится равновесие между притоком тепла и теплоотдачей. Это происходит примерно в 15 часов

по местному времени. Максимум температуры воздуха наступает несколько позднее, чем максимум температуры почвы. Это объясняется тем, что тепло максимально нагретой почвы еще нужно «поднять» на высоту 2 м, где измеряется температура воздуха, а на этот процесс требуется время.

Минимальная температура воздуха теоретически должна наблюдаться в момент восхода Солнца. Однако часто минимальная температура бывает несколько позже восхода Солнца. Сразу после восхода Солнце уже светит, но еще не греет или греет очень плохо. Поэтому еще некоторое время на высоте 2 м температура воздуха продолжает понижаться, а чуть позже, в зависимости от широты места, времени года и других причин, все встанет на свои места.

Наличие облачности и ветра также оказывает влияние на суточный ход температуры. Облачность препятствует солнечным лучам нагревать земную поверхность, тем самым сглаживая суточный ход температуры. Сильный ветер у земли увеличивает турбулентное перемешивание воздуха, тем самым выравнивая температуру воздуха на разных уровнях, что приводит к уменьшению амплитуды суточного хода температуры. В целом амплитуда колебаний температуры воздуха всегда меньше амплитуды суточных колебаний температуры поверхности почвы.

Как уже говорилось выше, географическим распределением температуры воздуха в различных широтах мы займемся при изучении характеристик различных воздушных масс.

Распределение температуры воздуха с высотой также имеет свои особенности. По вполне понятным причинам в тропосфере с увеличением высоты температура воздуха понижается. В среднем это понижение составляет $6,5^{\circ}\text{C}$ на 1 км высоты. Если учесть, что в стандартных условиях температура воздуха у земной поверхности принята равной 15°C , а высота тропосферы 11 км, то на верхней границе тропосферы температура воздуха равна $-56,5^{\circ}\text{C}$.

Если по каким-либо причинам температура воздуха с высотой увеличивается в каком-нибудь слое атмосферы, то этот слой называется *слоем инверсии*, а если остается постоянной — *слоем изотермии*. Для характеристики распределения температуры воздуха с высотой введено понятие о вертикальном температурном градиенте.

Вертикальным температурным градиентом (γ) называется отношение разности температур на двух уровнях к разности вы-

сот этих же уровней. Следовательно,

$$\gamma = -\frac{T_2 - T_1}{Z_2 - Z_1} = -\frac{T_2 - T_1}{\Delta Z}, \quad (3.1)$$

где T_1 и T_2 — температура воздуха на нижнем (1) и верхнем (2) уровнях, соответственно; ΔZ — разница высот двух уровней.

Обычно вертикальный градиент определяют на перепад высот 100 м или 1 км. Знак «-» в формуле (3.1) ставится для того, чтобы при уменьшении температуры воздуха с высотой (что соответствует обычному ходу температуры в тропосфере), вертикальный градиент температуры оставался положительным.

Более высокими слоями атмосферы мы с вами заниматься не будем.

Для специалиста-метеоролога понятие «температура» многоплановое. Это не только температура воздуха, за которой следят все обыватели, и даже не температура точки росы, о которой знают многие, но и целый ряд других температур, которые «подвластны» только специалистам. Ниже мы рассмотрим основные понятия о разных температурах, которые в той или иной мере используются на практике при разработке прогнозов погоды.

Для лучшего понимания сущности различных температур напомним некоторые положения из «школьной» физики. Известно, что энергия не может быть уничтожена, она лишь переходит из одной формы в другую. Если телу или какому-нибудь объему воздуха сообщить некоторое количество энергии, то это тело может использовать энергию на увеличение или уменьшение своего объема, на нагревание, электризацию и т.п. Процессы, протекающие при притоке или оттоке энергии, называются *диабатическими*. Они сопровождаются изменениями некоторых параметров состояния тела.

Вместе с тем есть процессы, происходящие в теле без притока энергии извне, а лишь сопровождающиеся перераспределением уже существующей в теле энергии. Такие процессы называют *адиабатическими*. Приставка «а» означает «без». Из-за «переводческих курьезов» в нашей метеорологической литературе вместо слова «*диабатический*» пишут «*неадиабатический*».

Виртуальная температура. Понятие виртуальная температура относится только к влажному воздуху. Виртуальная температура влажного воздуха это такая температура, которую имел бы сухой воздух при том же давлении и плотности, что и влажный. Следовательно,

$$T_v = T + \Delta T_v, \quad (3.2)$$

$$\text{а, } \Delta T_v = 0,608sT = 0,378T \frac{e}{p} \quad (3.3)$$

где: s- массовая доля водяного пара (удельная влажность), e -упругость водяного пара, p- атмосферное давление, T- температура влажного воздуха.

Величина ΔT_v называется виртуальным добавком и иногда используется при различных теоретических расчетах.

Потенциальная температура. Потенциальная температура (Θ) это такая температура, которую принял бы воздух, если бы его адиабатически привести (поднять или опустить) к давлению 1000 гПа. Следовательно,

$$\Theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{0.288} \quad (3.4)$$

Очевидно, что при сухоадиабатических процессах $\Theta = \text{const}$. Если потенциальная температура изменилась, то это означает, что имел место приток или отток тепла, т.е. процесс не был сухоадиабатическим. Уравнение (3.4) еще часто называют уравнением Пуассона. Понятие потенциальной температуры и сама потенциальная температура часто используется в оперативной практике.

Для определения потенциальной температуры нужно от исходной точки на аэрологической диаграмме опуститься или подняться по сухой адиабате до давления 1000 гПа и отсчитать значение температуры. В перемещающейся вертикально частице воздуха потенциальная температура остается неизменной, однако молекулярная температура падает на 1°C на каждые 100 м подъема и растет на 1°C на каждые 100 м опускания.

Эквивалентная температура. Эквивалентной температурой (T') называется такая температура, которую примет воздух, если содержащийся в нем водяной пар весь сконденсируется при неизменном давлении, а выделенное при этом тепло будет потрачено на нагревание воздуха.

Известно, что при конденсации 1кг водяного пара выделяется $2,50110^6$ кдж тепла. Это повышает температуру воздуха на

$\left(\frac{2501}{c_p} \right)$ градусов, где c_p - удельная теплоемкость сухого воздуха

при постоянном давлении. Из физики известно, что $c_p = 1005$ кДж/кг·град. Отсюда, если в воздухе содержится «s» граммов водяного пара, то

$$T' = T + \frac{2501}{1005}s = T + 2,5s \approx T + 2e, \quad (3.5)$$

где: e - упрутость водяного пара, мм рт.ст.

При замерзании 1кг воды дополнительно выделяется еще 333,5 кДж тепла. Тогда эквивалентная температура по отношению ко льду будет равна

$$T' = T + 2,8e. \quad (3.6)$$

Понятие эквивалентная температура часто используется в различных теоретических расчетах.

Псевдозэквивалентная температура (псевготемпература).

Псевдозэквивалентная температура (Tse) — это такая температура, которую принял бы воздух, если его адиабатически поднять до полной конденсации содержащегося в нем водяного пара (сделать воздух сухим), а затем опустить уже сухой воздух до исходного уровня.

Псевдозэквивалентная температура отличается от молекулярной на величину, равную приросту температуры за счет выделения скрытой теплоты конденсации.

Псевдопотенциальная температура. Псевдопотенциальная температура (Θ_{ps} , Θ') это такая же псевдозэквивалентная температура с той только разницей, что для получения псевдопотенциальной температуры нужно опускаться не до исходного уровня, а до уровня 1000 гПа.

Эквивалентно-потенциальная температура. Эквивалентно-потенциальная температура (Θ_e) это такая температура, которую принял бы воздух при адиабатическом процессе, если бы сначала сконденсировалась «вся вода» (весь водяной пар, находящийся в воздухе) при постоянном исходном давлении, вся теплота конденсации пошла бы на нагрев воздуха, а затем воздух был бы приведен к давлению 1000 гПа.

Выше мы с вами рассмотрели шесть различных видов температур. Из них наиболее значимыми и часто встречаемыми на практике являются потенциальная температура, эквивалентно-потенциальная температура и виртуальная температура. Ну, естественно, хорошему специалисту нужно хоть чуть-чуть знать и про остальные три температуры.

4. ВЕТЕР В АТМОСФЕРЕ

В атмосфере всегда есть ветер. Первопричиной возникновения ветра в атмосфере является неравномерное распределение атмосферного давления по земному шару. Как в сообщающихся сосудах уровень жидкости старается стать одинаковым, так и атмосферное давление у земли старается выровняться. Следовательно, в атмосфере возникает поток больших, вернее огромных, масс воздуха из районов с высоким атмосферным давлением в районы с пониженным давлением. Движение воздушных масс обусловлено силами барического градиента (G). Однако, как только возникает движение воздуха за счет силы барического градиента, сразу же возникает и сила Кориолиса (K), которая направлена в северном полушарии вправо под углом в 90 градусов от направления начавшегося движения воздушных масс. В результате взаимодействия этих сил в начальный момент времени воздух начнет перемещаться в направлении U_0 (Рис.4.1а).

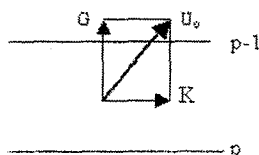


Рис.4.1а.

Пояснения к определению движения воздушных масс при наличии сил барического градиента (p - атмосферное давление).

Однако перемещение воздуха в направлении U_0 будет недолгим, так как снова возникнет сила Кориолиса, снова поток воздуха отклонится вправо от направления движения, и снова процесс будет неустойчивым. Это будет происходить до тех пор, пока сила Кориолиса не уравновесит действие силы барического градиента. В этом случае наш воздушный поток станет устойчивым, и теперь можно порассуждать о его направлении (Рис.4.1б).

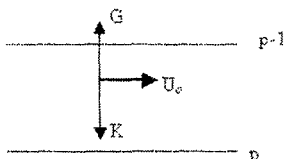


Рис.4.1б. Установившееся движение воздушных масс.

Как видно из рисунка, устойчивое направление перемещения воздушных масс, а это ветер, будет таким, при котором сила

барического градиента уравнивается силой Кориолиса, возникающей при перемещении этих воздушных масс. На рис. 4.1б хорошо видно, что при отсутствии сил трения сила Кориолиса может уравновесить силу барического градиента только в том случае, если она будет направлена в сторону, противоположную силе барического градиента. Это обстоятельство автоматически приводит к тому, что ветер должен быть направлен параллельно изобарам, причем зона пониженного давления должна в северном полушарии оставаться слева по движению.

Установившееся горизонтальное движение воздуха в прямолинейных параллельных изобарах при отсутствии сил трения называется *геострофическим ветром*.

Скорость геострофического ветра определяется по следующей формуле

$$U_0 = -\frac{1}{2\rho\omega_z} \cdot \frac{\partial p}{\partial n}, \quad (4.1)$$

где: $\omega_z = \omega \sin \varphi$; $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ — угловая скорость вращения земли, φ — широта места, $\partial p / \partial n$ — горизонтальный градиент давления, а сила Кориолиса (K) равна

$$K = 2\rho\omega \sin \varphi \cdot U, \quad (4.2)$$

где U — скорость ветра, а ρ — плотность воздуха.

Однако в пограничном слое атмосферы всегда существуют силы трения: механическая сила трения движущегося воздуха о подстилающую поверхность и сила турбулентного трения, обусловленная вязкостью воздуха. Суммарная сила трения (F), и действует на движущийся воздух. В результате этого реально силу барического градиента уравнивает не одна, а две силы: сила Кориолиса и сила трения (рис.4.2).

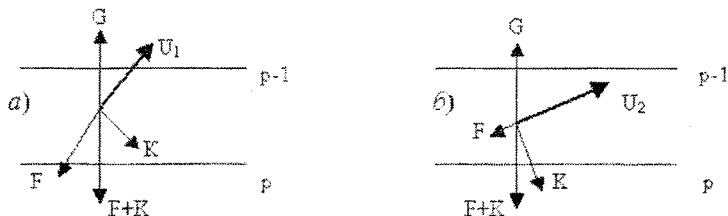


Рис.4.2. Оценка направления движения воздушных масс при различных значениях силы трения.

Как видно из рисунка, в случае (а) и в случае (б) сила барического градиента уравнивается суммой сил Кориолиса и трения. Установившийся воздушный поток (ветер) будет направлен вдоль U_1 или U_2 , соответственно на левой и на правой части рисунка. Как говорится, невооруженным глазом видно, что в случае (а) сила трения F значительно больше, чем в случае (б). Также заметно, что угол между изобарой и вектором U_1 больше угла между изобарой и вектором U_2 . Следовательно, чем меньше сила трения, тем ближе к изобаре будет расположено направление ветра. Поэтому принято считать, что у земли ветер отклоняется от изобар над морем на 15-20 градусов, а над сушей на 30-45 градусов.

Сила трения с увеличением высоты уменьшается, а направление ветра с высотой приближается к изобарам. Это особенно хорошо заметно в пограничном слое атмосферы. *Пограничный слой атмосферы* — это слой атмосферы от земли до высоты 500-1500 м, в котором за счет земной поверхности и турбулентного обмена хорошо выражен суточный ход метеорологических элементов, амплитуда которого уменьшается с высотой и на верхней границе слоя стремится к нулю. Нижние 20-250 м пограничного слоя называются *приземным слоем*. Этот слой характеризуется значительным увеличением коэффициента турбулентности с высотой и как следствие — в нем наблюдаются большие и очень большие вертикальные градиенты метеорологических величин.

Изменение направления и скорости ветра с высотой хорошо описывается так называемой «спиралью Экмана», внешний вид которой показан на рис.4.3.



Рис.4.3. Спираль Экмана

Рисунок (рис.4.2) позволяет сделать еще один интересный вывод. Как следует из этого рисунка, низкое давление остается слева от направления движения воздуха, а высокое — справа. Теперь представьте себе, что изобары являются замкнутыми окружностями с низким давлением в центре. Такое поле давления называют *циклоном*. Для того чтобы низкое давление в этом поле оставалось слева, движение воздуха в нем должно быть направлено против часовой стрелки, что и наблюдается в циклонах северного полушария. Если же в центре такого поля давление высокое, то это поле давления называется *антициклоном*. Из тех же соображений ясно, что дви-

жение воздуха здесь должно происходить по часовой стрелке.

Ветер в циклонах и антициклонах, а также в поле незамкнутых изобар при отсутствии сил трения называют *циклострофическим*.

Как геострофический, так и циклострофический ветер обусловлен силой барического градиента, поэтому и тот и другой являются *градиентным ветром*.

Реальный ветер в атмосфере с учетом силы трения называют *действительным ветром*.

Кроме того, существуют еще несколько понятий о ветре. Основные из них:

- *изаллобарический ветер* — это такой ветер, который не совпадает с геострофическим из-за изменения давления во времени (а это изаллобары!). Отклонения изаллобарического ветра от геострофического редко превышают 20%. Этот ветер является, в основном, теоретическим, почти никогда не прогнозируется и используется только в некоторых численных схемах.
- *термический ветер*. Термический ветер представляет собой разность векторов геострофического ветра на верхнем и нижнем уровнях какого-либо слоя атмосферы. Модуль этой разности пропорционален градиенту средней (по высоте) температуре воздуха в данном слое, а направление совпадает с направлением изотерм средней температуры, оставляя низкие температуры слева, а высокие — справа (в северном полушарии). Этот ветер и получил название термического ветра. На рис. 4.4 приведены примеры термического ветра, который может наблюдаться при адвекции тепла и адвекции

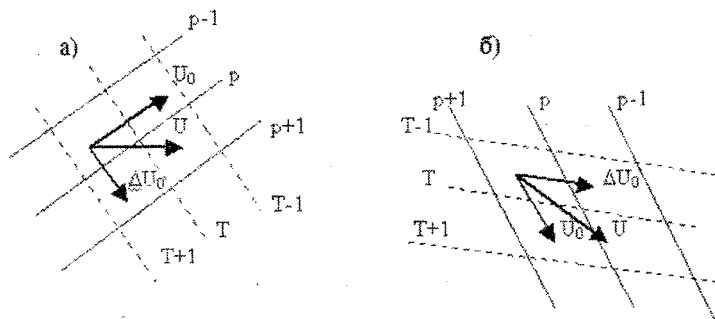


Рис. 4.4. Пояснения к определению термического ветра.
а) при адвекции тепла; б) при адвекции холода.

холода. В метеорологии горизонтальный перенос более теплого воздуха в сторону более холодного называют *адвекцией тепла*, а перенос более холодного воздуха в сторону более теплого — *адвекцией холода*. Как видно, на левой части рис.4.4 приведен пример барического поля, в котором наблюдается адвекция тепла, а на правом — адвекция холода. Если обозначить скорость ветра на нижнем уровне через U_0 , термический ветер через ΔU_0 , а скорость ветра на верхнем уровне через U , то становится очевидным, что при адвекции тепла имеет место поворот ветра по часовой стрелке, а при адвекции холода — против часовой стрелки.

Как видно из рисунка, при адвекции тепла (рис.4.4 а) наблюдается правый поворот ветра, а при адвекции холода (рис 4.4 б) — левый поворот ветра. Этими правилами часто пользуются на практике, когда только по данным температурно-ветрового зондирования атмосферы по изменению направления ветра с высотой приходится оценивать характер адвекции.

— *средний ветер*. Средний ветер в каком-либо слое определяется как среднее значение векторов ветра в пределах данного слоя. Этот ветер рассчитывается для нужд Министерства по чрезвычайным ситуациям или Министерства обороны.

По данным зондирования атмосферы в произвольном масштабе на специальном бланке или листе бумаги строятся векторы ветра на различных уровнях, затем определяется результирующий вектор, а по нему — средний ветер в слое от высоты самого нижнего вектора до высоты самого верхнего. Направление среднего ветра сразу же указывает направление результирующего вектора, а для получения его скорости следует длину суммарного вектора разделить на количество просуммированных векторов (рис.4.5).

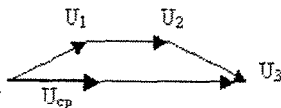


Рис. 4.5. К определению среднего ветра.

- *относительный ветер*. Относительный ветер это ветер в какой-либо относительной системе координат. В отличие от *абсолютного ветра*, равного сумме скоростей ветра относительно земной поверхности и скорости вращения земли.
- *эквивалентный ветер*. Понятие об эквивалентном ветре (ω) используется только при метеорологическом обеспечении

авиации. Эквивалентный ветер это такой расчетный ветер, который постоянен по величине, направлен по линии пути самолета и оказывает на полет такое же влияние, как и реальный ветер. В последнее время понятие эквивалентного ветра можно считать в какой-то мере устаревшим, так как на практике расчеты эквивалентного ветра сейчас выполняются крайне редко.

- *струйное течение.* Струйным течением называется сильный ветер в свободной атмосфере. Принято считать, что струйное течение существует, если на высотах более 5 км наблюдается ветер со скоростью более 30 м/с или 100 км/ч. Обычно струйное течение представляет собой узкую зону сильных ветров. По статистике высота (толщина) струйного течения не превышает 10 км, ширина — нескольких сотен километров, а протяженность — нескольких тысяч километров, хотя известны случаи, когда струйное течение опоясывало весь земной шар. Максимальная скорость ветра, зарегистрированная в струйном течении над территорией России, равнялась 340 км/ч.
- *мезоструйные течения.* Мезоструйными течениями называются потоки воздуха со скоростями 15-30 м/с на высотах 200-500 м над поверхностью земли. Эти потоки часто наблюдаются над слоями инверсии, ночью в области низких антициклонов. При наличии таких струй у земли ветер, как правило, не превышает 3 м/с. Исчезают мезоструи обычно через 2-3 часа после восхода солнца (после разрушения приземной инверсии), однако, зимой могут сохраняться долго, особенно в Арктике и Антарктиде.

Это интересно:

- самый сильный ветер у земли зафиксирован на одном из перевалов в горах на территории США. Там наблюдался ветер со скоростью 129 м/с, а это больше 450 км/ч;
- в 40-е годы XX века, когда только-только начинались наблюдения с помощью радиозондов, не верили данным, если получалось, что скорость ветра на высотах больше 100 км/ч. Тогда еще не знали о струйных течениях. Теперь знают, и над северными районами Тихого океана зафиксирована скорость ветра в 750 км/ч! Самолет ИЛ-18, который имеет крейсерскую скорость 650 км/ч и который еще кое-где летает, попав против такой струи, имел бы отрицательную скорость, т.е. летел бы «хвостом вперед» со скоростью 100 км/ч.
- очень хорошо, что, говоря об относительном ветре, мы имеем

в виду ветер относительно земной поверхности. Иначе бы мы запутались. Действительно, Земля движется по орбите вокруг Солнца со скоростью 30 км/с. За счет вращения Земли вокруг своей оси на широте Санкт-Петербурга или Стокгольма каждая точка земной поверхности «пробегают» около 230 м/с, а скорость ветра у Земли всего 5 м/с. Представляете, что бы было, если бы мы изменили систему отсчета?!

5. ВОДА В АТМОСФЕРЕ

О «круговороте воды в природе» мы все знаем еще со школьной скамьи: солнце нагревает землю и воду, вода испаряется, в виде пара поднимается в атмосферу, там конденсируется и в виде осадков снова попадает на землю. Ежегодно с земной поверхности (вода + суша) испаряется 355 тыс. км³ воды. Вся вода быстро возвращается опять на землю, но в атмосфере всегда находится примерно 13 тыс. км³ воды. Это очень много! Такое количество воды в 11 раз больше, чем во всех реках мира. Запас воды в атмосфере обновляется примерно через 9 суток, т.е. 40 раз в год.

Рассмотрим путь попадания воды в атмосферу. Этот путь один — *испарение*. В принципе, испарение это отрыв молекул воды (водяного пара) от поверхности. Интенсивность испарения зависит от температуры воздуха, скорости ветра и в меньшей степени от величины атмосферного давления. Физика процесса испарения заключается в следующем. Если представить горизонтальную поверхность воды (рис.5.1), то на этой поверхности постоянно идет процесс отрыва молекул воды (*испарение*) и возвращение молекул воды из воздуха (*конденсация*). В зависимости от

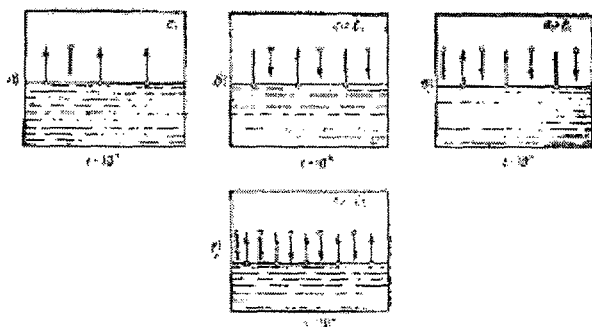


Рис. 5.1. К пояснению физики процесса испарения:

того, какой процесс преобладает, можно говорить или о процессе испарения, или о процессе конденсации.

В тех случаях, когда количество «оторвавшихся» молекул равно количеству «вернувшихся», можно говорить о процессах насыщения. Причем упругость насыщения водяного пара (E) будет тем больше, чем выше температура, т.е. если $T_1 < T_2$, то $E_1 < E_2$.

Упругость насыщения (E) зависит также и от агрегатного состояния вещества: чем тяжелее оторвать молекулу от той среды, в которой она находится (чем больше силы сцепления молекул), тем меньше упругость насыщения. Поэтому $E_{\text{льда}} < E_{\text{воды}}$, а упругость насыщения над вогнутой поверхностью меньше, чем над горизонтальной и еще меньше, чем над выпуклой.

Это примерно как бег по воде, когда в одном случае воды только по щиколотку, в другом по колено, а в третьем по пояс. Естественно, что в последнем случае «вырваться» из воды вам будет тяжелее всего.

Следовательно, прочитав еще раз последний абзац и внимательно посмотрев на рис.5.2, можно убедиться, что действитель-

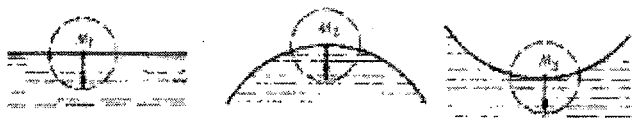


Рис. 5.2. Испарение с поверхности различной кривизны.

но, упругость насыщения над водой больше, чем над льдом, а упругость насыщения над мелкими каплями больше, чем над крупными. Это очень важный вывод. Дело в том, что в облаке всегда рядом существуют капли разных размеров. И вот, представьте себе ситуацию, когда упругость насыщения в облаке (e) больше, чем над крупной каплей, но меньше, чем над мелкой ($E_{\text{крупн.}} < e < E_{\text{мелк.}}$). При таком «раскладе» мелкие капли продолжают испаряться, а крупные конденсируют на себя водяной пар атмосферы, т.е. крупные капли в облаке растут за счет мелких капель.

Аналогичная картина происходит и с ростом облачных кристаллов: кристаллы имеют возможность расти за счет всей жидкой фазы облака как за счет крупных, так и за счет мелких облачных капель. Ну а рост размеров облачных элементов приводит к выпадению осадков.

Хотелось бы ознакомить читателей со сложными тепловыми процессами в облаке. Ведь известно, что при испарении воды затрачивается тепло на преодоление сил сцепления молекул (600 кал на 1 г или примерно $2,5 \cdot 10^6$ Дж/кг), а на плавление льда (разрушение пространственной решетки) дополнительно тратится 80 кал на 1 г или $0,33 \cdot 10^6$ Дж/кг. При конденсации водяного пара и замерзании воды выделяется такое же по величине количество тепла. Вот поэтому представить себе достаточно точную модель облака и всех процессов в нем является очень сложной задачей.

Ну, а не привязываясь непосредственно к облаку, можно сказать, что вода в атмосфере может находиться в трех агрегатных состояниях: *вода, пар и лед*. Иногда говорят и о четвертом состоянии — *переохлажденной воде*, но, пожалуй, с точки зрения физики, лучше говорить о трех фазовых состояниях воды, а не о четырех.

В зависимости от температуры (T) и давления (p) состояние влаги в атмосфере может быть различным. Оно, это состояние, может быть определено так называемой диаграммой состояния, которую еще называют кривой Магнуса (рис.5.3)

Как видно из диаграммы, если параметры атмосферы соответствуют значениям, указанным в точке «А», то в этом случае упругость водяного пара в точке «А» (e_A) меньше упругости насыщения (E), т.е. $e_A < E$ и, следовательно, при такой ситуации будет происходить процесс испарения. В точке «В» наоборот, упругость насыщения $e_B > E$, а это значит, что в данном случае будет происходить процесс конденсации водяного пара.

В точке «С» водяной пар и вода находятся в равновесии. Следовательно, в этом случае имеет место состояние насыщения ($e_C = E$).

На рис.5.3 заметно также, что при отрицательных температурах воздуха максимальная упругость водяного пара над водой чуть больше, чем надо льдом. Этого «чуть-чуть» в атмосфере хватает для возникновения многих важных процессов. Как уже говорилось, во-первых, за счет этого в облаке кристаллы растут за счет капель. Во-вторых, по той же причине говорят, и говорят совершенно справедливо, что «снежный покров съедает туман», так как капли тумана испаряются, и водяной пар конденсируется на снежной поверхности тем самым уменьшая водность тумана и «съедая» его.

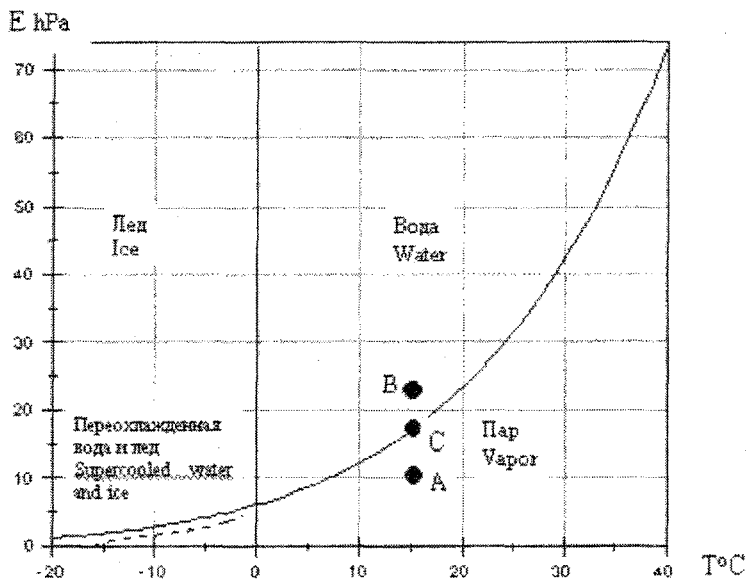


Рис. 5.3 Диаграмма состояния влаги в атмосфере. Кривая Магнуса.

Это интересно:

— хитрый вопрос: пожалуйста, покажите точку на диаграмме состояния, которая соответствует состоянию водяного пара в вашей комнате.

— как мы писали только что выше, небольшая разница в упругости насыщения над водой и над льдом («чуть-чуть») приводят в атмосфере к серьезным и очень интересным процессам. Это в какой-то мере напоминает работу обыкновенного лифта. Обязательной частью каждого лифта является противовес, который по своему весу «чуть-чуть» тяжелее кабины с пассажирами. В результате даже небольшого по мощности двигателя достаточно для приведения кабины лифта в движение, и это возможно практически при любом весе кабины лифта. Здесь, как и в атмосфере (или в атмосфере, как и в лифте), работает принцип «чуть-чуть».

— говоря о процессах испарения и конденсации, хочется привести такой пример. Одна береза за год испаряет несколько тысяч литров воды, а это значит, что за солнечный день каждое дерево испаряет в атмосферу 3-5 ведер воды. И это только одно дерево и в один день!

—и еще один пример, который наглядно показывает всю силу и величие атмосферных процессов. Если представить себе кучево-

дождевое облако средних размеров (10х10 км по горизонтали и 5 км в высоту) и считать, что его водность равна 1 г/м^3 (это меньше среднего значения водности в кучево-дождевом облаке), то в облаке таких размеров содержится $5 \cdot 10^5$ тонн воды или 10000 железнодорожных цистерн. Этой водой из облака можно полностью заполнить бассейн глубиной 5 м с горизонтальными размерами 100х1000 м. Эта «вода» образовалась при конденсации водяного пара, находившегося в воздухе, а, как известно, при конденсации водяного пара выделяется тепло. Так вот, если бы все тепло конденсации пошло только на нагрев воды, то выделившись $3 \cdot 10^5$ Гкал тепла хватило бы для того, чтобы нагреть от 0 до 100 градусов бассейн с водой размерами 5х100х6000 м. Такое количество энергии сопоставимо с энергией первых атомных бомб.

Есть еще один интересный вопрос для читателей: всем известно, что вода тяжелее воздуха, что облачные капли тоже тяжелее воздуха, но они не всегда и не сразу падают на землю. Почему? Все дело в том, что в атмосфере почти всегда существуют вертикальные токи. Даже если скорость этих токов всего несколько сантиметров в секунду, этого оказывается достаточно для того, чтобы капля не упала на землю. Только по этой причине и «держатся» в воздухе облачные капли. Когда же капля по разным причинам укрупняется и становится такой, что вертикальным потокам ее не удержать, она падает на землю, и мы фиксируем, что у нас пошел дождь. Вам приходилось в детстве пускать мыльные пузыри? Представьте себе, что такая капля и есть маленький «мыльный пузырь».

Вертикальные токи возникают при наличии так называемой неустойчивой стратификации атмосферы. Вертикальные движения возникают по разным причинам. Например, вертикальные движения, вызываемые сходимостью воздушных потоков, занимают огромные площади и потому называются крупномасштабными. Их скорость невелика — мм/с или см/с. Они ответственны за формирование слоистых облаков.

Другой тип таких движений — это сравнительно узкие вертикально направленные струи. Их скорость может достигать десятков метров в секунду. Такое движение получило название вертикальных токов.

Если какой-то объем воздуха оказался теплее всего окружающего воздуха, то он будет подниматься (вот вам и вертикальные токи). Наглядное подтверждение этому — теплый воздух и дым от костра, движение которого вверх видно невоо-

руженным глазом. Более нагретая часть суши (например, вспаханное поле по сравнению с окружающим его лесом) и является для атмосферы таким «костром», который создает в атмосфере неустойчивость и вертикальные движения. Совершенно очевидно, что чем сильнее вертикальные токи, тем более крупные капли могут удержаться в воздухе этим потоком. Именно эти токи формируют облака, из которых выпадают ливневые осадки. Вот поэтому в ливневом дожде капли более крупные по размеру по сравнению с дождем морсящим.

6. НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ И ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ

Неблагоприятными и опасными гидрометеорологическими явлениями называются такие явления, которые приводят к человеческим жертвам и/или крупномасштабному экономическому ущербу.

В настоящее время приняты следующие термины и аббревиатура этих явлений:

- ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ (ОЯ) — если критерии интенсивности и продолжительности явлений достигли установленных для них величин;
- НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ (НМУ) — если опасные явления наблюдались, но их интенсивность и продолжительность не достигли установленных величин для их квалификации как опасные явления.

В принципе все метеорологические явления можно считать опасными.

Это интересно:

Однажды в школе учителя химии, который рассказывал про какое-то «безобидное вещество», спросили о том, является ли оно ядовитым. На это учитель ответил, что все вещества ядовиты, даже пирожное. Все зависит от того, сколько съесть. Так и в природе — все явления опасны. Все зависит от того, сколько времени и с какой интенсивностью продолжается то или иное метеорологическое явление.

Давайте рассмотрим основные метеорологические величины и явления погоды и оценим их опасность для человека и различных экономических структур.

Температура воздуха. У температуры воздуха три «беда»: низкие температуры, высокие температуры и температуры около 0°C.

Низкие температуры — тоже понятие «растяжимое». В наших широтах можно назвать низкой температуру воздуха -20°C и ниже, в Якутии -40°C и ниже, а в Сочи -10°C и ниже. Так что, совершенно очевидно, что понятие «низкие температуры» сильно зависит от географического положения того или иного региона.

Низкие температуры воздуха у земли оказывают существенное влияние на всю деятельность человека. Основное влияние на самого человека и на различные экономические структуры они оказывают следующим образом:

- *на человека* — возможностью обморожения в зависимости от температуры воздуха, ветра, одежды и времени пребывания на открытом воздухе;
- *на строительные организации* — возможностью прекращения работ на открытом воздухе и ограничению проведения внутренних работ на недостроенных объектах;
- *на проведение спортивных соревнований* — возможностью отмены спортивных соревнований из-за низких температур и возможностью обморожения спортсменов;
- *на коммунальное хозяйство и топливно-энергетический комплекс* — возможностью размораживания отопительных систем и перевода работы всех котельных на предельные режимы работы. Кроме того, низкие температуры приводят к продлению отопительного сезона в городах и поселках (продление отопительного сезона в Петербурге только на один день приводит к дополнительным затратам в 170 тыс. \$, а отопление 1 м^2 жилого помещения стоит примерно 3\$ в год);
- *на автомобильный транспорт* — сложностью работы автомобильной техники и водителей при низких температурах (в районах крайнего севера при низких температурах иногда водители не выключают двигатели круглосуточно, так как на морозе двигатель завести очень трудно);
- *на железнодорожный транспорт* — сложностью работы подвижного состава и работников по его обслуживанию;
- *на морской транспорт* — возможностью обледенения судов и сложностью работы экипажа на палубе;
- *на сельское хозяйство* — возможностью вымерзания озимых посевов и садов, необходимостью дополнительного обогрева скотных дворов и теплиц и как следствие — возможностью возникновения пожаров и дополнительные затраты денежных средств;
- *на топливное хозяйство* — возможностью возникновения в

- топливе (автомобильном и авиационном) при его неправильном хранении кристаллов, что делает это топливо непригодным к использованию в автомобильных и авиационных двигателях;
- *в металлургии* — возможностью смерзания руды в железнодорожных вагонах, что делает ее непригодной для использования на металлургических комбинатах, так как необходимо или дожидаться размораживания руды, или взрывать вагоны, или использовать различные добавки для того, чтобы руда не смерзалась, что увеличивает себестоимость конечной продукции;
 - *на работу и жизнь заповедников* — необходимостью дополнительного ухода за деревьями и подкормки зверей и птиц, а это дополнительные затраты на содержание заповедника;
 - *на работу экологически вредных производств* — возможностью возникновения смогов, оказывающих неблагоприятное воздействие на экологическую ситуацию в регионе;
 - *на работу горнодобывающей промышленности* — при работе в открытых карьерах, помимо возможности образования смога на дне карьера, наблюдается очень большой перепад температур на верхнем и нижнем срезах карьера (на Кольском полуострове в карьере Центральный при температуре воздуха у земли -18°C на дне карьера температура -42°C);
 - *на работу туристических агентств и курортных организаций* — возможностью уменьшения потока туристов;
 - *на работу медицинских учреждений* — возможностью увеличения числа больных с простудными заболеваниями и обморожениями;
 - *на работу электрических сетей* — возможностью и необходимостью увеличения нагрузки до предельной на все агрегаты электрических станций.

Высокие температуры воздуха, которые, как и низкие температуры, «понятие растяжимое», также далеко не всегда радуют людей. У работников разных отраслей хозяйства на то есть свои основания. Например:

- *для работников сельского хозяйства* высокие температуры грозят возможной засухой и потерей урожая, уменьшением количества заготовленного сена, необходимостью организации достаточного водопоя для нормального содержания скота, а также возможностью возникновения пожаров, которые могут уничтожить запасы и сена, и собранного урожая;

- *для лесного хозяйства* высокие температуры грозят возможностью возникновения лесных пожаров, и как следствие такой возможности — гибель животных и птиц, а также необходимость проведения авиационной разведки лесных пожаров, что требует достаточно больших затрат (кстати, по статистическим данным в России ежегодно вырубается 1 млн. га леса и 1 млн. га погибает от пожаров);
- *для всех граждан* высокие температуры опасны для здоровья, особенно для лиц, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, астмой и сахарным диабетом. При высоких температурах в воздухе значительно меньше содержание кислорода, что также не улучшает самочувствие людей. Особенно заметно разное состояние человека при температурах воздуха 36°C и 37°C. При температуре 36°C здоровый человек еще как-то «отдает тепло» (у него температура 36,6°C), а при температуре 37°C ему «отдавать тепло некуда»;
- *для коммунального хозяйства* высокие температуры оборачиваются необходимостью дополнительного полива цветов, бульваров и даже парков, дополнительного полива улиц, а также необходимостью обязательного регулярного вывоза мусора и борьбы с локальными пожарами.
- *для всего транспорта* высокие температуры опасны тяжелыми условиями труда водителей (экипажей), а для авиации дополнительно еще и увеличением расхода топлива и увеличением длины разбега и пробега воздушных судов.

Температура воздуха около 0°C. Это третья «беда» температуры. И опять, как высокие или низкие температуры, так и «нулевые» температуры действуют по-разному на различные хозяйственные структуры. Вот несколько примеров такого воздействия:

- *для сельского хозяйства* при таких температурах очень опасны заморозки, которые могут уничтожить посевы озимых и яровых культур, а также уничтожить урожай фруктов в садах, если заморозки будут наблюдаться в период цветения плодовых деревьев. Кроме того, при нулевой температуре раскисшие проселочные дороги и оборванные провода воздушных линий связи или электропередач при налипании на них мокрого снега (гололед) тоже очень опасны. Справедливости ради, нужно сказать, что это беда не только сельскохозяйственных предприятий;

- *для коммунального хозяйства* такая температура воздуха является неблагоприятной или даже опасной потому, что требуется дополнительный уход за дорогами. Нужно убирать грязь и мокрый снег с тротуаров и проезжей части улиц, а при гололеде или гололедице — посыпать дороги песочно-солевой смесью (одноразовая посыпка такой смесью всех дорог в Петербурге обходится налогоплательщикам в 240 тыс. \$). И еще одна беда коммунальщиков — сосульки. Они очень опасны, их нужно сбивать, а делать это некому, и часто у коммунальных служб на это просто нет средств.

Все перечисленные сложности такой погоды для коммунального хозяйства стоят больших денег. Иногда, чтобы сохранить свои бюджетные средства, руководство коммунальных служб не убирает улицы, не борется с гололедом и сосульками. Свои деньги этот комитет сохраняет, но делает банкротом комитет по здравоохранению, который все свои деньги тратит на лечение наших переломов, ушибов и других всевозможных травм;

- *для медицинских учреждений* нулевые температуры опасны не только переломами, но и значительным увеличением простудных заболеваний, количество которых может превысить эпидемиологический порог (для заболевших гриппом эпидемиологический порог составляет одно обращение к врачу на 500 жителей);
- *для предприятий энергетики и связи* температуры воздуха около нуля градусов опасны возможностью образования гололеда и налипания мокрого снега на провода. Все это приводит к обрыву воздушных линий электропередач, а для устранения обрыва ремонтным бригадам до него нужно еще «добраться» по раскисшим дорогам. Кроме того, при такой погоде, которая обычно сопровождается высокой влажностью, значительно увеличиваются потери электроэнергии в линиях передач, что также приводит к неприятным последствиям;
- *для предприятий всех видов транспорта* температуры около нуля градусов, естественно, отрицательные, тоже очень плохо. Для авиации это обледенение воздушных судов на земле, обледенение взлетно-посадочной полосы и как следствие — задержка вылета или возврат самолетов при невозможности посадки на обледенелую полосу. Для автомобильного транспорта это уменьшение скорости движения, увеличение количества дорожно-транспортных происшествий и возможность «разморозить» машины при неожиданном

похолодании. Для железнодорожного транспорта нулевые температуры опасны возможностью обрыва проводов контактной сети, обледенением подвижного состава и значительным ухудшением условий работы на открытом воздухе. Для флота такие температуры наибольшую опасность представляют возможностью обледенения судов со всеми вытекающими отсюда последствиями;

- *для строительных организаций* - при такой температуре воздуха «раскисают» подъездные пути, увеличиваются простои строительной техники, а также работа на стройке становится более опасной.

Все, о чем сказано выше, дает возможность понять, почему температура воздуха может быть иногда неблагоприятным, а иногда и опасным явлением погоды.

Атмосферное давление. Пожалуй, атмосферное давление и его изменения являются наименее «вредными» характеристиками атмосферы. И это несмотря на то, что у земли атмосферное давление может колебаться в значительных пределах. Известны случаи, когда величина атмосферного давления практически на уровне моря (в Санкт-Петербурге) была или меньше 720 мм рт. ст., или больше 790 мм рт. ст.

Больше всего величина атмосферного давления сказывается на самочувствии людей. С одной стороны, низкое давление уменьшает содержание кислорода в воздухе, что негативно сказывается на всех жителях любого региона. С другой стороны, при низком атмосферном давлении ухудшается самочувствие людей, страдающих гипотонией, а при высоком атмосферном давлении хуже себя чувствуют те, у кого гипертония. Так что при заметно повышенном или пониженном давлении увеличивается нагрузка на наших медиков, на наши лечебные и курортные учреждения.

Это интересно:

Наше сердце («насос» или «мотор» — как хотите) «гоняет» кровь по всем нашим сосудам. При каждом ударе сердца очередная «порция» крови поступает в наши вены и артерии. Все наши сосуды, принимая эту «порцию», немножко пульсируют, изменяясь в диаметре. Поэтому даже при нормальном артериальном давлении (120/60, а это тоже миллиметры ртутного столба), наши сосуды преодолевают силу атмосферного давления. Гипертоникам, у которых артериальное давление повышено, нужно, чтобы сосуды расширились побольше для снижения давления, а высокое атмосферное давление «мешает» это сделать. Вот поэтому по-

вышенное атмосферное давление ими переносится плохо. Ну а с гипотониками все наоборот. Надеюсь, что после такого примитивного объяснения вам стали понятней процессы, происходящие в нашем организме.

Изменение атмосферного давления, особенно резкое изменение, неблагоприятно сказывается на самочувствии всех людей. Кроме того, резкое изменение давления — это еще и сильный ветер, который оказывает влияние не только на самочувствие человека, но и на многие отрасли хозяйства.

Ветер. Если небольшой ветер у земли для многих это «благо», то сильный ветер никому и ничего, кроме беды, принести не может. В мире известны случаи, когда скорость ветра достигала 65 м/с и более. Естественно, такой ветер — это катастрофа. Сильным же часто считается ветер со скоростью более 15 м/с. Давайте рассмотрим, как влияет сильный ветер на различные хозяйственные структуры, и не будем пока понятие «сильный ветер» характеризовать каким-нибудь конкретным числом.

- *для сельского хозяйства* сильный ветер опасен возможностью полегания посевов и как следствие — гибелью урожая в поле, гибелью урожая в садах, а также возможностью разрушения сельскохозяйственных построек.
- *для объектов энергетики* опасность сильного ветра заключается в том, что есть возможность выхода из строя линий электропередач из-за обрыва проводов, повреждения или опрокидывания опор ЛЭП, повреждения трансформаторных подстанций. Следствием этого становится недополучение энергии потребителями, что приводит к так называемой «упущенной выгоде» различных хозяйственных структур.
- *для объектов связи* при сильном ветре становится проблемой эксплуатация воздушных линий (так называемых «воздушек»). Воздушные линии связи в большом количестве есть еще в сельской местности. Обычно эти линии существуют уже очень давно, стоят на ветхих, покосившихся опорах, а хорошей просеки вдоль такой линии связи часто нет. Вот и получается, что сильный ветер «заваливает» или опору, или какое-нибудь выросшее дерево на провода (посмотрите на такую воздушную линию, которая идет вдоль железной дороги, когда вы едете в командировку или в отпуск, и вам все будет понятно).
- *для всех видов транспорта* сильный ветер благом не назовешь. Действительно, для *авиации* сильный ветер опасен воз-

можными поломками воздушного судна на земле, а также задержками с вылетом воздушного судна, закрытием аэродрома или возвратом самолета или вертолета. Если задержка вылета и закрытие аэродрома являются так называемой «упущенной выгодой», то поломка самолета или вертолета и их возврат — это потери авиапредприятия в «чистом виде».

Автомобильный транспорт при сильном ветре вынужден снижать скорость движения (особенно это касается большегрузного транспорта), и как следствие — увеличение расхода топлива и времени перевозок груза. Кроме того, пыль, поднимаемая сильным ветром, ухудшает видимость и нарушает работу двигателя, а снежные заносы на дорогах приводят к необходимости их дополнительного обслуживания. Это дополнительные затраты, дополнительное снижение скорости движения, дополнительное увеличение числа дорожно-транспортных происшествий.

Железнодорожный транспорт, хотя и «бежит» по рельсам, тоже страдает от сильного ветра. При сильном ветре возможны по разным причинам обрывы контактной сети, на железнодорожном полотне возможны заносы снега, на узловых товарных станциях затруднена работа подъемных кранов.

Водному транспорту сильный ветер оказывает очень большие помехи в работе. Прежде всего, сильный ветер вызывает волнение водной поверхности, что значительно затрудняет судоходство. При сильном волнении могут возникнуть подвижки груза, а это уменьшает безопасность судоходства. Кроме того, сильный ветер затрудняет или исключает работу подъемных кранов в порту, затрудняет швартовку и значительно затрудняет движение судов по фарватеру.

Коммунальное хозяйство. В городах и поселках сильный ветер в буквальном смысле слова «ставит на ноги» всех работников этого профиля. Для городского (коммунального) хозяйства сильный ветер опасен возможностью обрывов различных воздушных линий (от линий связи до линий электропередач и контактных проводов городского электротранспорта), поваленными деревьями, которые могут перекрывать движение на отдельных магистралях и вызывать различные повреждения на земле. Кроме того, это сорванные крыши, поваленная реклама, выбитые стекла и даже человеческие жертвы. В Приморском крае, который очень развитым не назовешь, один час «работы» сильного ветра в тропическом циклоне наносит ущерб краю в 10 тыс. \$.

Лесное хозяйство. Для лесного хозяйства сильный ветер опасен так называемым ветровалом. Это не только поваленные деревья и как следствие — гибель леса, но и заваленные лесные дороги и просеки. Очистка лесов от ветровала наносит заметный ущерб различным лесоустроительным организациям.

Строительные организации. Сильный ветер для строительных организаций может обернуться прекращением строительных работ. Различные башенные краны по своим техническим характеристикам могут работать при ветре не более определенной силы. Для одних кранов это скорость ветра 17 м/с, для других 22 м/с. Простой кранов наносит строительным организациям значительный ущерб. В среднем можно считать, что простой одного башенного крана в течение часа приводит к потерям в 150 \$. А, кроме этого, при простое крана наблюдается так называемая упущенная выгода из-за приостановления строительно-монтажных работ. К сожалению, строители, нарушая технику безопасности, иногда выполняют работы при ветре, сила которого превышает допустимую.

Организации топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Работа на различных буровых установках также может быть ограничена сильным ветром. Как и в строительных организациях, на различных объектах ТЭК установлены предельные скорости ветра, при которых возможно выполнять те или иные виды работ. И также, как и в строительных организациях, правила техники безопасности иногда нарушаются и в организациях ТЭК.

О влиянии сильного ветра на характер работы *медицинских и курортных организаций* мы вам рассказали чуть раньше, когда говорили о влиянии изменения атмосферного давления на здоровье человека.

Осадки, метель и туманы. Перечисленные явления могут очень неблагоприятно воздействовать на различные отрасли хозяйствования. Приведем здесь только несколько примеров, а остальные сложности и опасности нам кажется, что читатель в состоянии домыслить самостоятельно.

Для *сельского хозяйства* осадки опасны возможностью полегания посевов, раскисанием (раньше времени) почвы и дорог, невозможностью собрать или вывести с полей урожай. Рано выпавший на поля снег может «похоронить» всю годовичную работу сельскохозяйственного предприятия по выращиванию урожая. Вместе с тем не следует забывать, что своевременные выпавшие осадки необходимы для нормального развития сельскохозяй-

ственных культур. При отсутствии осадков (засуха) урожай может погибнуть.

Для *предприятий энергетики* осадки и туманы приводят к значительному увеличению электрических потерь на воздушных линиях электропередач. Кроме того, для предприятий энергетики, как и для предприятий сельского хозяйства, осадки и метели опасны возможностью раскисания дорог, снежными заносами и т.д. Ведь за всей этой сложной системой передачи энергии нужно следить, нужно делать профилактические осмотры, а при необходимости и ремонт. Но до места ремонта ремонтным рабочим нужно еще добраться. Вот тут-то и возникают основные проблемы влияния осадков, метелей и туманов на предприятия энергетики.

Для *предприятий связи* проблемы влияния туманов, осадков и метелей на их деятельность практически такие же, как и у предприятий энергетики. Это, в первую очередь, увеличение электрических потерь в линиях связи и как следствие — ухудшение связи, это раскисшие дороги и снежные заносы при метелях.

Для *предприятий транспорта* и осадки, и метели, и туманы всегда являются неблагоприятными (если не опасными) явлениями погоды. Действительно, для *авиации* эти явления оборачиваются задержкой вылета воздушного судна, закрытием аэропорта или даже возвратом воздушного судна при неудачном прогнозе погоды. Это все приносит авиапредприятию значительные убытки. Например, возврат воздушного судна «стоит» примерно 4000 долларов, закрытие аэропорта на час — 3000 долларов, а интенсивная работа в аэропорту Пулково по очистке его от снега также обходится авиапредприятию в 3000 долларов за час работы.

Автомобильный транспорт при таких явлениях вынужден уменьшать скорость движения из-за плохой видимости, раскисания дорог и снежных заносов, а работники дорожной службы вынуждены заниматься расчисткой дорог. Работа одной единицы техники по расчистке дорог обходится автодорожному предприятию примерно в 20 долларов за час работы, а поддержание дорог в рабочем состоянии только из-за неблагоприятных погодных условий требует примерно 25000 долларов в год на 100 км дорог.

Это интересно:

Однажды в газете было сообщение о том, что во Франции во время сильного тумана произошло дорожно-транспортное происшествие. Водители обеих машин в тяжелом состоянии доставлены в больницу, а сами машины не пострадали. Так как понять такое сразу трудно, в газете далее дается пояснение случившегося. Две

машины ехали навстречу друг другу. Из-за плохой видимости в тумане каждый водитель опустил боковое стекло и высунулся из машины. В результате произошло при небольшой скорости движения в буквальном смысле слова «лобовое столкновение» водителей, а машины остались целыми и невредимыми.

Для железнодорожного транспорта наибольшую опасность представляют снежные заносы на дороге и возможность размыва и разрушения железнодорожного полотна при сильных или продолжительных осадках, а капитанам судов приходится уменьшать скорость движения и быть очень внимательными при швартовке и проходе по узкому фарватеру при плохой видимости.

Коммунальное хозяйство больше всего страдает от сильных ливней и снежных заносов. От работников этой сферы требуется содержать в порядке так называемую ливневую канализацию, заниматься расчисткой дорог и внутренних дворовых территорий, а также вывозкой снега. Кроме того, при наличии в каком-либо регионе горных районов возможны оползни, сходы снежных лавин, селевые потоки и т.д. Все это требует огромных затрат для поддержания своего «хозяйства» в исправном состоянии.

Строительные организации при осадках и метелях тратят дополнительные средства для поддержания в порядке подъездных путей (а они часто и без дождя находятся не в самом лучшем виде), а также иногда вынуждены прекращать монтажные и отделочные работы на незавершенных объектах. Следствием этого является уменьшение выполненного объема работ и, естественно, — упущенная выгода.

Для топливно-энергетического комплекса метели, туманы и осадки — это те же дороги и заносы, а, кроме того, большие трудности при работе в открытых карьерах.

Осадки, метели и туманы не всегда благоприятно сказываются на самочувствии людей. Это, скорее неблагоприятная, чем хорошая погода для человека. Поэтому при такой погоде увеличивается нагрузка на наши медицинские учреждения (скорую и неотложную помощь, больницы, поликлиники, медицинский персонал санаториев и домов отдыха).

Из сказанного выше становится понятным, что различным отраслям хозяйства необходим специализированный прогноз проходимости дорог, просыхания грунтовых аэродромов, возможности возникновения снежных заносов, самочувствия людей и т.д. И из сказанного выше становится очевидным, что такой специа-

лизированный прогноз должен быть разным для разных отраслей хозяйства.

Грозы, град. Вот это, пожалуй, самые опасные явления погоды. Нет ни одной отрасли хозяйства, для которой гроза и град были бы явлениями полезными. Приведем несколько примеров.

Для сельского хозяйства опасность гроз и града заключается в возможности уничтожения посевов на полях, уничтожения урожая в садах и виноградниках. Кроме того, даже для животноводства грозы и град представляют серьезную опасность. Прежде всего, это разрушение животноводческих построек, возможность возникновения пожара при попадании молнии в эти постройки, а также возможность травмирования скота и даже его гибель при крупном граде.

Это интересно:

- Гроза — одно из самых опасных явлений погоды.
- На земном шаре наблюдается 44000 гроз в сутки или 1800 гроз в час, а каждую минуту сверкает 100 молний.
- Энергия всех гроз составляет одну тысячную часть той энергии, которая поступает на землю от солнца. Со времен М.В. Ломоносова ведутся опыты по обузданию этой энергии, но пока, к сожалению, безуспешно.
- Энергия грозового облака размером (10 x 10) км и высотой (толщиной) 5 км примерно равна энергии десяти атомных бомб, сброшенной на Хиросиму или Нагасаки.
- Восходящие потоки в грозовом облаке могут иметь скорость до 50-60 м/с, а нисходящие 30-35 м/с. Это соответственно около 200 и около 100 км/ч.
- Перед грозовым облаком у земли могут наблюдаться шквалы со скоростью ветра больше 60 м/с, а это больше 230 км/ч.
- Запас воды в грозовом облаке размером (10 x 10) км и высотой 5 км такой, что этой водой можно целиком заполнить бассейн шириной 100 м, длиной 1000 м и глубиной 5 метров. Это составляет примерно 15000 железнодорожных цистерн. И вся эта вода держится в воздухе только в одном облаке! Вот где еще великая сила!
- Для того чтобы облачная капля диаметром 20 микрон приобрела размеры примерно в 2 миллиметра и стала дождевой нужно, чтобы эта капля «столкнулась» в облаке с себе подобными 1000000 (миллион!) раз.
- Гром не опасен для человека, но мы так устроены, что не успеваем среагировать на молнию и быстро пригибаемся, услышав гром. Те, кто был в боях, говорят, что пуля, которая просвистела, «не твоя». «Своей пули» солдат не услышит.
- Если время (в секундах), через которое после молнии загремит гром, разделить на 3, то получится расстояние в километрах, на котором от вас сверкнула молния.

- В сильном ливне видимость может уменьшиться до нескольких десятков метров. Известны случаи, когда из-за плохой видимости в дожде приостанавливал работу весь наземный транспорт.
- Общая сила удара капель ливня о верхнюю поверхность самолета Ту-154 составляет ...2,5 тонны!
- С грозой связан и очень опасен град, размеры которого могут быть достаточно большими. На территории России самый крупный град наблюдался в Ростовской области. Здесь зафиксирован вес отдельных градин в 1800 г. Представьте себе, что на вас с высоты 5 км падает двухлитровая банка с водой! Это то же самое. Самый крупный град наблюдался в Индии. Там вес отдельных градин достигал 2200 г. Попав под такой град не выдержал и через три дня умер слон. Слоника, конечно, жалко, но представьте себе, что осталось от посевов, садов, зданий, самолетов и автомашин, которые стали жертвами этого стихийного бедствия.

Для *предприятий энергетики* грозы очень опасны. Прежде всего, это выход из строя трансформаторных подстанций, повреждение линий электропередач, и как следствие — недополучение электроэнергии потребителями. Только в одной Орловской области, которую не назовешь сильно развитым промышленным регионом, из-за гроз предприятия области недополучают примерно 400 тыс. кВт/ч энергии в год. Отсюда может считаться «упущенная выгода».

Для *предприятий связи* грозы опасны возможностью вывода из строя радиорелейных станций, воздушных линий связи и антенного «хозяйства» отрасли.

Серьезную опасность представляют грозы для работы всех *видов транспорта*. Так, например, при грозах практически всегда аэропорт закрыт. Следовательно, авиапредприятие при грозах несет определенные потери. Эти потери складываются из потерь из-за задержки вылетов, закрытия аэродрома и возврата воздушного судна. В среднем (мы об этом уже писали) эти потери составляют 500 \$ при задержке вылета одного самолета на 1 час, 3000 \$ при закрытии аэродрома на 1 час и 4000 \$ при возврате самолета.

Потери автомобильного транспорта при грозах обусловлены уменьшением скорости движения автомобилей по трассе, а также возможностью увеличения числа дорожно-транспортных происшествий.

Для железнодорожного транспорта грозы опасны возможным повреждением контактной сети, размывом железнодорожного полотна при сильных ливнях, а также нарушением нормального режима работы кранов при погрузке и разгрузке вагонов.

Для водного транспорта опасность гроз обусловлена возможностью нарушения связи, а также возможностью попадания молнии в судно со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Коммунальное хозяйство любого региона также страдает от грозовой деятельности. Это сказывается, прежде всего, на всех воздушных линиях связи и электропередач (от внутриквартального освещения до линий городского электротранспорта). Кроме того, грозы и связанные с ними сильные ливни «проверяют» исправность стоковой ливневой канализации и возможность движения любого транспорта при возникающих завалах или потоках на дорогах.

Для лесного хозяйства грозы опасны, прежде всего, возможностью возникновения лесных пожаров, а также ветровалом, а для *строительства* — потерей рабочего времени при простоях башенных кранов, невозможностью выполнения некоторых монтажных работ и как следствие — упущенная выгода.

Ливни, грозы и град не всегда оказывают благоприятное воздействие на состояние здоровья человека. Пожалуй, трудно говорить о том, что в *медицинских и курортных учреждениях* при грозе у медиков становится значительно больше работы, но у них могут возникнуть разного рода неожиданные проблемы, о которых лучше заранее знать, и к решению которых лучше заранее подготовиться.

В принципе разговор в этом плане об опасных и неблагоприятных явлениях погоды можно продолжить, однако, как нам кажется, разумный читатель может теперь это сделать и без нашей помощи.

Статистиками установлено, что потери всех хозяйственных структур России от погодных условий составляют 20 млрд. \$ в год. Из этой суммы примерно 60% являются непредотвратимыми потерями, а за оставшиеся 40% «можно побороться». Для этого нужен не только хороший специализированный прогноз погоды, но и грамотное управленческое решение, которое должно принять руководство предприятия по полученному прогнозу. Если прогнозы погоды совсем не принимать во внимание, то потери хозяйства России удвоятся.

В последнее время в России уделяется большое внимание проблеме рисков. В ноябре 2003 года под руководством президента РФ было проведено специальное заседание правительства, посвященное данной проблеме. Естественно, рассматривались проблемы всяческих рисков, в том числе и метеорологических,

для существующих, строящихся и проектируемых предприятий в различных отраслях хозяйства.

Это важно, но не очень интересно:

В соответствии с приказом Росгидромета №104 от 15.10. 1999 с 1.01.2001 г. утвержден перечень неблагоприятных и опасных явлений погоды, которые приводят к крупномасштабному экономическому ущербу или даже к человеческим жертвам. В каждом экономическом районе этот перечень «свой», и величины, указанные в нем, зависят от географического положения региона, его экономического потенциала и т.д. Нет смысла приводить здесь какие-либо примеры. Просто надо знать, что существует такой приказ Росгидромета и в соответствии с ним оценивать различные природные явления, приносящие определенные потери тому или иному региону.

7. ВОЗДУШНЫЕ МАССЫ И АТМОСФЕРНЫЕ ФРОНТЫ

Как мы уже говорили, нашу землю окружает воздушная оболочка — атмосфера. И, совершенно очевидно, что в районе экватора и в районе полюса воздух по своим свойствам будет разный. По установившейся традиции воздушную оболочку земли принято делить на *воздушные массы*.

Воздушной массой называют «порции» воздуха в тропосфере, размеры которых соизмеримы с большими частями материков и океанов, и которые обладают некоторыми общими свойствами и перемещаются в одном направлении. Из определения следует, что горизонтальные размеры воздушной массы колеблются в пределах от 500 до 4000 км, а вертикальные — от 2 до 10 км.

К основным свойствам воздушных масс относятся температура воздуха, влажность воздуха на различных высотах, вертикальный температурный градиент и прозрачность атмосферы. Формирование воздушной массы происходит под воздействием подстилающей поверхности. Находясь длительно над одним и тем же районом, воздушная масса принимает характерные значения температуры и влажности как у поверхности земли, так и на высотах. Благодаря этому характерным становится и вертикальный градиент температуры в воздушной массе, и условия развития вертикальных движений в ней, и как следствие — запасы энергии неустойчивости в воздухе.

Воздушные массы различают либо по термодинамическим характеристикам, либо по географическому положению очагов ее формирования.

Теплой называется воздушная масса, которая перемещается в более холодную среду, т.е. на более холодную подстилающую поверхность. *Холодной*, наоборот, называется такая воздушная масса, которая перемещается на более теплую подстилающую поверхность.

Термическое воздействие подстилающей поверхности на воздушную массу приводит к существенным изменениям ее температурного режима. Так, теплая воздушная масса будет охлаждаться снизу, а холодная — снизу прогреваться. Это приведет к изменению вертикального градиента температуры, который будет уменьшаться в теплой воздушной массе и увеличиваться в холодной. Следовательно, теплая воздушная масса будет становиться более устойчивой, а холодная, наоборот, более неустойчивой.

В зависимости от величины вертикального температурного градиента теплые и холодные воздушные массы разделяют на устойчивые и неустойчивые, а в зависимости от их влагосодержания — на сухие и влажные. Следовательно, по своим термодинамическим характеристикам воздушные массы разделяются на следующие типы:

- Устойчивая теплая влажная воздушная масса.
- Устойчивая теплая сухая воздушная масса.
- Неустойчивая теплая влажная воздушная масса.
- Неустойчивая теплая сухая воздушная масса.
- Устойчивая холодная влажная воздушная масса.
- Устойчивая холодная сухая воздушная масса.
- Неустойчивая холодная влажная воздушная масса.
- Неустойчивая холодная сухая воздушная масса.

Для каждого типа воздушных масс характерны определенные условия погоды (табл. 7.1).

Таблица 7.1.

Условия погоды в воздушных массах различного типа согласно термодинамической классификации

Тип воздушной массы	Погода в теплое время года	Погода в холодное время года
Устойчивая теплая влажная воздушная масса	Тепло, влажно. Облака высококучевые, слоисто-кучевые, Обложные дожди.	Оттепель. Низкие облака слоистых форм. Дымки, туманы, мокрый обложной снег.
Устойчивая теплая сухая воздушная масса	Малооблачная жаркая погода.	Над Европой не встречается
Неустойчивая теплая влажная воздушная масса	Грозы, шквалы, град, иногда возможны смерчи.	Ливневой снег, метели, порывистый ветер.

Неустойчивая теплая сухая воздушная масса	Сильный порывистый ветер, пыльные бури.	Оттепель, тающий снег, порывистый ветер.
Устойчивая холодная влажная воздушная масса	Прохладная погода, слоисто-кучевые облака.	Умеренно холодная погода. Низкие облака, мокрый снег, гололед, туманы.
Устойчивая холодная сухая воздушная масса	Малооблачная прохладная погода.	Малооблачная очень холодная погода.
Неустойчивая холодная влажная воздушная масса	Ливневые дожди, кучевые облака.	Изморозь, метели, порывистый ветер, конвективные облака.
Неустойчивая холодная сухая воздушная масса	Кучевые облака, холодный порывистый ветер. Прохладная погода.	Малооблачная морозная погода. Холодный порывистый ветер.

Указанная в таблице погода является наиболее характерной для данных воздушных масс. Однако, на самом деле она может значительно отличаться от табличной в зависимости от местных условий и синоптического положения.

При географической классификации воздушных масс различают воздушные массы четырех широтных зон: арктический или антарктический воздух, воздух умеренных широт (полярный воздух), тропический воздух и экваториальный воздух. В каждом из четырех перечисленных типов (кроме экваториального) воздух может быть континентальным или морским.

Знание очагов формирования, путей движения и основных характеристик воздушных масс имеет большое практическое значение, так как дает возможность правильно оценить и спрогнозировать характер погоды в заданном районе.

Рассмотрим основные типы воздушных масс, поступающих в Европу или формирующихся над ее территорией.

Морской арктический воздух (МAB). Этот воздух поступает в Европу с северо-западными, реже с северными, ветрами из района Гренландии и Шпицбергена. Проходя над открытыми ото льда теплыми водами Норвежского и Северного морей, морской арктический воздух прогревается, увлажняется и приобретает неустойчивую стратификацию. У побережья Северной Европы МAB в течение всего года является неустойчивой влажной воздушной массой, но, как правило, в этом воздухе гроз не бывает. При продвижении на материк свойства и характер погодных условий зависят от времени года. Летом, перемещаясь на теплый материк, этот воздух становится еще более неустойчивым и превращается в континентальный умеренный воздух (КУВ). Зимой при движении над покрытым снегом материком МAB охлаждает

ется от земной поверхности, т.е. снизу, и постепенно теряет свою неустойчивость, превращаясь в устойчивую воздушную массу. В переходные сезоны года этот воздух днем является влажной неустойчивой воздушной массой, а ночью приобретает устойчивую стратификацию.

Условия погоды в МАВ зависят от характера синоптической обстановки, при которой происходит вторжение этого воздуха в Европу, а также от контраста температур между воздушной массой и подстилающей поверхностью.

Континентальный арктический воздух (КАВ). Континентальная воздушная масса, поступающая в Европу, формируется в районе Баренцева и Карского морей и полуостровов Ямал и Таймыр.

Формирование КАВ происходит над холодной, покрытой льдами и снегом подстилающей поверхностью. В очаге формирования КАВ в течение всего года является устойчивой воздушной массой. Его устойчивость особенно сильно выражена зимой, но, как правило, сохраняется и летом.

Зимой в этом воздухе преобладает малооблачная погода с низкими температурами и морозными дымками и туманами. Летом за счет повышения температуры часто наблюдаются плотные туманы и низкая слоистая облачность.

На европейскую часть России КАВ поступает с северо-восточными, реже с северными ветрами. Зимой над ЕЧР этот воздух остается сухим и устойчивым. Обычно в нем наблюдается малооблачная морозная погода с низкими и очень низкими температурами. Иногда из этого воздуха выпадают ледяные иглы, а в зоне крупных городов и крупных промышленных предприятий (аэродромов) образуются морозные дымки и ледяные туманы. Летом, перемещаясь на теплый материк, КАВ снизу (от земли) начинает прогреваться, становится неустойчивым и более влажным. В этом воздухе в средней полосе ЕЧР могут наблюдаться слабые ливневые осадки и очень редко — грозы.

В переходные сезоны года континентальный арктический воздух над ЕЧР является не очень влажной неустойчивой воздушной массой, из которой часто выпадают осадки в виде крупы или снега.

Ранние осенние и поздние весенние заморозки, а также самые низкие температуры воздуха в Европе связаны именно с вторжением континентального арктического воздуха.

Морской умеренный воздух (МУВ) формируется в умеренных широтах Атлантического и Тихого океанов.

Зимой массы холодного континентального воздуха из районов Канады поступают в районы со сравнительно теплыми водами Атлантики, и в процессе движения к востоку приобретают морские свойства. Прогреваясь от воды снизу, МУВ становится неустойчивым и влажным. Поэтому у побережья Западной Европы в этом воздухе часто наблюдается кучево-дождевая облачность, ливневые осадки и, что очень опасно из-за трудностей прогнозирования, - зимние грозы. При этом обычно бывает сильный порывистый, а иногда и шквальный ветер.

По мере продвижения в глубь холодного материка МУВ теряет свою неустойчивость, охлаждаясь снизу, и приобретает устойчивую стратификацию. Над ЕЧР это типичная влажная устойчивая воздушная масса с низкой слоистой облачностью, туманами или дымками, морозящими осадками и слабым снегом. При активном перемещении этого воздуха на восток часто наблюдаются оттепели, которые могут доходить до Урала.

Летом формирование МУВ происходит над северной Атлантикой, в районе Исландии. Здесь над относительно холодной водной поверхностью воздух имеет обычно устойчивую стратификацию. При своем продвижении на восток (в Европу) МУВ попадает в теплые воды Гольфстрима, прогревается снизу, приобретает неустойчивую стратификацию и дополнительно увлажняется.

У побережья Западной Европы в этом воздухе содержится очень много влаги, и как следствие неустойчивой стратификации и большого влагосодержания — в этих районах часто наблюдаются ливни и грозы. По мере продвижения воздуха на материк количество и интенсивность ливней и гроз в МУВ уменьшается, так как основную массу своей влаги этот воздух «теряет» уже у побережья.

Континентальный умеренный воздух (КУВ). Континентальный умеренный воздух формируется над умеренными широтами Евразии и Америки. Над территорией Европы и России этот воздух является местной воздушной массой. Как и любая воздушная масса, эта воздушная масса образуется в результате изменения основных свойств других воздушных масс, которые длительное время находились в зоне умеренных широт. Свойства КУВ значительно меняются от зимы к лету и зависят от того, в каком конкретном районе огромной зоны умеренных широт происходило образование континентального умеренного воздуха.

Зимой КУВ обычно является холодной воздушной массой, а летом — теплой. Зимой в этом воздухе преобладает низкая сплош-

ная облачность, иногда с морозящими осадками и туманами, а летом — конвективная облачность, иногда с ливнями и грозами во второй половине дня.

Морской тропический воздух (МТВ). Этот воздух формируется в тропической зоне океанов, а иногда и над Средиземным морем. В районах формирования МТВ обычно является устойчивой и влажной воздушной массой. На континенты этот воздух зимой приносит обширные зоны туманов, низкой облачности, морозящие осадки и гололедные явления.

Летом МТВ над материками быстро прогревается снизу и приобретает неустойчивую стратификацию. Уже на небольшом удалении от береговой черты в МТВ отмечается развитие кучво-дождевых облаков, интенсивные ливневые осадки и грозы с сильными и очень сильными ветрами.

В переходные сезоны года МТВ является обычно влажной и устойчивой воздушной массой. Только ближе к лету (в конце весны и начале осени) этот воздух в дневные часы может быть неустойчивым.

Континентальный тропический воздух (КТВ). Формирование этой воздушной массы происходит над континентальными областями тропической зоны. Для территории России это районы Нижнего Поволжья для территории Западной Европы — районы Северной Африки.

Из-за очень сильного прогрева снизу практически всегда КТВ является неустойчивой воздушной массой, но слишком высокие температуры и небольшое влагосодержание приводит к тому, что облака в этом воздухе образуются крайне редко.

Летом в КТВ преобладает жаркая и сухая погода, а зимой наблюдаются низкие слоистые облака, морозящие осадки и сильные туманы.

Справедливости ради следовало бы дать характеристику и экваториальному воздуху, но так как на территории России и Европы этот воздух не наблюдается, то о свойствах этого воздуха мы говорить не будем. Кроме того, экваториальный воздух по своим свойствам почти ни чем не отличается от морского тропического воздуха. Поэтому в последнее время метеорологи в тропических странах перестали выделять его в отдельную воздушную массу.

Это интересно:

Воздушная масса не остается все время на одном месте. Она смешивается или на юг, или на север, переходит с океанической по-

верхности на материк и наоборот. Все это приводит к изменению основных свойств воздушной массы, ее *трансформации*. Вместе с изменением температуры, влажности и устойчивости воздуха происходит и изменение погодных условий в этом воздухе, которые нужно обязательно учитывать при разработке прогнозов погоды. Без этого все прогнозы будут «точнее фактической погоды».

Узкая переходная зона между двумя различными воздушными массами называется *атмосферным фронтом*. Атмосферный фронт (фронтальная зона) характеризуется резкими изменениями метеорологических величин в горизонтальном направлении. Ширина переходной зоны у поверхности земли составляет 50-100 км, а на высотах 200-400 км. Толщина переходной зоны у поверхности земли не превышает 100-200 м, а на высотах увеличивается до 500-1000 м. По сравнению с размерами воздушных масс толщина переходного слоя небольшая, поэтому его называют фронтальной поверхностью, а его пересечение с какой-либо другой поверхностью — фронтом (линией фронта). Протяженность фронтальной поверхности в направлении, перпендикулярном линии фронта, составляет 600-1000 км, а в направлении вдоль линии фронта соответствует протяженности воздушной массы (до 5000 км и более). По вертикали атмосферные фронты обычно прослеживаются до высоты 5-6 км.

Фронтальная поверхность всегда наклонена так, что под этой поверхностью находится холодный воздух, а над ней — теплый.

Из-за небольшой ширины фронтальной зоны на картах погоды она обозначается (изображается) линией. Взаимодействие воздушных масс в зоне фронта обуславливает образование облачности, осадков и других явлений погоды. Таким образом, на границе двух различных воздушных масс в переходной (фронтальной) зоне происходит резкое изменение метеорологических параметров в горизонтальном направлении. Отсюда такое «трепетное» отношение синоптиков-практиков к качеству синоптического анализа, к правильности проведения атмосферных фронтов на картах погоды.

Итак, атмосферный фронт это раздел между двумя воздушными массами, имеющими различные параметры. Обычно в разных воздушных массах наиболее ярко выражена разница в температуре воздуха и его влагосодержании. По статистике, при переходе из одной воздушной массы в другую, температура воздуха у земли изменяется на 5 градусов и более, а на высотах — на 8 и более градусов на расстоянии в 1000 км.

Из уравнения состояния однозначно вытекает, что плотность теплого воздуха (ρ_t) меньше плотности холодного воздуха (ρ_x), т.е. $\rho_t < \rho_x$, следовательно, если первоначально фронтальный раздел должен был быть вроде бы вертикальным (рис.7.1 а), то по идее холодный воздух (более тяжелый) должен вытеснить наверх теплый, более легкий воздух (рис.7.1 б).

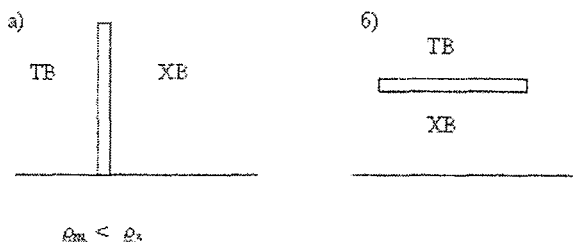


Рис.7.1. Положение раздела между двумя воздушными массами
а – первоначальное, б – конечное (теоретическое).

На самом деле такого вытеснения теплого воздуха, как показано на рис.7.1 б, никогда не бывает, и фронтальная поверхность всегда расположена под углом к горизонту так, как это показано на рис.7.2.

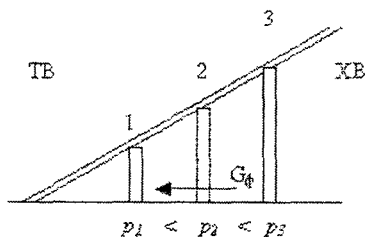


Рис.7.2. Фактическое положение атмосферного фронта.
 G_{ϕ} - градиент давления в зоне фронта.

В самом деле, атмосферное давление в первом столбе воздуха меньше, чем во втором, а во втором меньше, чем в третьем. Это объясняется тем, что высота «холодного» столба в третьем случае наибольшая, следовательно, он тяжелее, и здесь давление больше. Раз так, то возникает сила барического градиента G_{ϕ} ,

направленная в сторону низкого давления. При этом сразу же возникает сила Кориолиса, и в результате воздушный поток оказывается направленным вдоль приземной линии фронта. Этот поток и удерживает фронтальный раздел в наклонном состоянии. Угол наклона фронта (α), при котором достигается равновесие двух воздушных масс, зависит от характеристик этих масс. Этот угол можно определить по формуле Маргулеса:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\omega \cdot \sin \varphi}{g} \cdot \frac{V_1 T_2 - V_2 T_1}{T_2 - T_1} \quad (7.1)$$

где: V и T — скорость ветра (м/с) и температура (К) воздуха, соответственно. Значения с индексом «1» относятся к холодной воздушной массе, а с индексом «2» — к теплой; ω — угловая скорость вращения земли; φ — широта места; g — ускорение силы тяжести.

Обычно наклон фронтальной поверхности очень небольшой и равен 1/300 — 1/50. В среднем считают, что наклон поверхности теплого фронта равен 1/100, а холодного 1/50 или 1/75, причем, чем быстрее смещается фронт, тем круче наклонена фронтальная поверхность.

Из рис. 7.2 можно сделать еще один интересный и очевидный вывод: *атмосферный фронт у земли и на высотах всегда находится в ложбине*. Действительно, в первом единичном столбе воздуха холодного воздуха меньше, чем во втором, а во втором меньше, чем в третьем. Это очевидно. Также очевидно, что холодный воздух тяжелее теплого, а следовательно, атмосферное давление в первом столбе будет меньше, чем во втором, а во втором меньше, чем в третьем. Так можно «добраться» и до приземной линии фронта, где холодный (более тяжелый) воздух практически отсутствует. Следовательно, атмосферный фронт всегда расположен там, где наблюдается наименьшее давление, т.е. он не просто находится в ложбине, а лежит на ее оси. Как правило, ложбина всегда бывает чуть лучше выражена со стороны холодного воздуха. Почему так происходит — хорошо видно из того же рис. 7.2. Объяснение того, что атмосферный фронт всегда находится в ложбине, которое мы привели выше, достаточно просто и понятно. Однако это не единственная причина нахождения фронта в ложбине. Существует еще несколько причин, пояснение которых требует прочных и фундаментальных знаний в области физики атмосферы. Эти причины мы с вами рассматривать не будем.

И еще одно обстоятельство. Если у земной поверхности в теплой и холодной воздушной массе атмосферное давление одинаково (рис.7.1 а), то поднявшись на одинаковую высоту, в теплом воздухе атмосферное давление будет больше, чем в холодном (теплый воздух легче холодного, и поэтому в нем давление изменится на меньшую величину). Следовательно на этой, практически любой высоте, возникнет поток воздуха со стороны теплого воздуха в сторону холодного для того, чтобы выровнять атмосферное давление. Это приводит к наклону фронтальной поверхности таким образом, что теплый воздух оказывается над холодным (см. рис.7.2).

Первоначально градиенты температуры, формирующие фронтальную зону, возникают за счет существующего барического поля. Если представить условное барическое поле (рис.7.3), то здесь при первоначальном равномерном поле температур вдоль оси «у»-оси сжатия - происходит увеличение горизонтальных градиентов температуры, и возникает фронтальная зона. Ось «х» на рисунке называют осью растяжения.

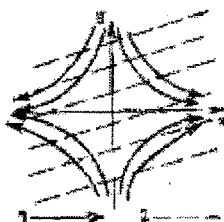


Рис.7.3. К пояснению физики образования фронтальных зон.
1- линии тока, 2- изотермы.

В природе и на практике все значительно сложнее, хотя основополагающие теоретические принципы остаются теми же самыми. Теоретически фронтальный раздел, разделяющий две какие-либо воздушные массы, должен замыкаться вокруг земного шара, имея в одних районах гребни тепла, а в других — ложбины холода. На самом деле из-за трансформации воздушных масс, разной подстилающей поверхности, а иногда и из-за плохого анализа карт погоды этого на карте не увидишь. Вот поэтому и говорят, что синоптик не рождаются, а им становятся, причем становятся, проработав на практике не менее 3-5 лет. Тогда сам синоптик будет в состоянии увидеть все неточности анализа и внести в него необходимые коррективы.

Кстати, еще одно очень распространенное и очень нужное теоретическое положение: *знак атмосферного фронта всегда*

меняется на оси гребня. Это просто объясняется с помощью рис.7.4. На рисунке представлено барическое поле и фронталь-

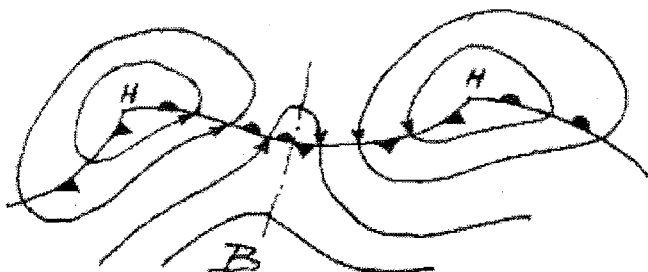


Рис.7.4. К пояснению определения точки смены знака атмосферного фронта.

ная зона. До оси гребня по потоку в каждую точку земной поверхности вместо холодного воздуха будет поступать теплый, т.е. имеет место теплый атмосферный фронт. После оси гребня, наоборот, в каждую точку земной поверхности будет поступать холодный воздух, т.е. имеет место холодный атмосферный фронт, а следовательно, знак фронта меняется на оси гребня.

Атмосферные фронты классифицируются по целому ряду признаков. Основные признаки классификации следующие:

По географическому положению атмосферные фронты бывают

- арктический фронт;
- полярный фронт;
- тропический фронт (внутритропическая зона конвергенции).

По горизонтальной и вертикальной протяженности фронта атмосферные фронты бывают

- основные;
- вторичные (линии неустойчивости, линии шквалов).

По особенностям смещения воздушных масс атмосферные фронты бывают

- теплые;
- холодные (1 и 2 рода);
- нейтральные;
- стационарные (малоподвижные).

По сложности взаимодействия воздушных масс в зоне фронта атмосферные фронты бывают

- простые (теплые или холодные);
- сложные (фронты окклюзии).

В зависимости от выраженности характеристик атмосферные фронты бывают

- хорошо выраженные фронты;
- размытые фронты;
- обостряющиеся фронты;
- размывающиеся фронты;
- маскированные фронты.

Все характеристики атмосферных фронтов подробно рассматриваются в курсе синоптической метеорологии, и мы в данной книге этого вопроса пока касаться не будем. Отметим только, что холодные фронты обостряются днем и размываются ночью. Это обусловлено увеличением днем прогрева земной поверхности и как следствие — увеличением скорости вертикальных токов и увеличением количества облачности и интенсивности осадков.

Теплые фронты, наоборот, обостряются ночью и размываются днем. Обострение теплых фронтов ночью происходит за счет охлаждения верхней границы облачности и как следствие — увеличение вертикального градиента температуры, возникновение кучево-дождевой облачности, гроз и ливневых осадков.

Как было указано выше, атмосферный фронт всегда лежит в ложбине. Поэтому понятно, что с увеличением высоты в зоне теплого фронта ветер поворачивает по часовой стрелке, а в зоне холодного фронта — против часовой стрелки.

И еще одна особенность фронтальных зон, на которой не часто останавливаются в учебниках: на теплом фронте зона осадков зимой, как правило, примерно на 100 км шире, чем летом. Дело в том, что зимой снежинки, выпадающие из слоисто-дождевых облаков на расстоянии 300-400 км от приземной линии фронта, не тают и достигают земли, а летом они не только тают, но и иногда испаряются, не достигая земной поверхности.

Самая «плохая» или самая сложная погода практически всегда наблюдается во фронтальных зонах. Здесь и сплошная, часто низкая, облачность, сильные осадки, сильный и порывистый ветер. Мы не будем здесь подробно описывать облачные системы различных атмосферных фронтов, а сделаем это чуть позже, когда будем рассказывать об образовании и классификации облач-

ности. В этой части дадим только основные характеристики теплового и холодного фронтов.

Теплый фронт

- Наклон:** От 1:100 до 1:300, чем активней фронт, тем он круче. Средний наклон 1:200. Это значит, что на высоте 1 км теплый фронт находится впереди своего приземного положения на 200 км.
- Облака:** По мере приближения теплового фронта количество облаков верхнего яруса увеличивается, облака становятся толще, их нижняя граница опускается. По горизонтали облака растянуты приблизительно на 800 км от приземного положения фронта.
- Погода:** На расстоянии 300 — 400 км от приземного положения фронта идет слабый дождь или снег обложного характера, усиливающийся по мере приближения фронта. Ширина зоны осадков зимой на 50-100 км шире, чем летом. После прохождения фронта осадки прекращаются. Отдельные очаги слабого дождя или мороси могут наблюдаться в теплом секторе циклона за фронтом.
- Температура:** Может расти после прохождения фронта, но не обязательно, если дождь препятствует её росту.
- Точка росы:** Растет перед фронтом, после прохождения фронта выравнивается.
- Видимость:** Хорошая перед фронтом, ухудшается в зоне осадков, после прохождения фронта может быть плохой из-за дымки или тумана.
- Давление:** Падает перед фронтом. В большинстве случаев остается постоянным после прохождения фронта, однако может падать, если происходит углубление циклона, с которым связан фронт.
- Приземный ветер:** Слегка вращается влево (против часовой стрелки) и усиливается перед фронтом, затем поворачивает вправо после прохождения фронта.
- Ветер на высотах:** Поворачивает вправо с высотой.

Движение: Скорость смещения теплого фронта над морем примерно 80%, а над сушей — примерно 70% от скорости ветра на уровне 500 гПа.

Холодные фронты

Наклон: От 1:30 до 1:100. Чем активнее фронт, тем он круче. Средний наклон холодных фронтов 1:75.

Облака: Облака медленно смещающихся холодных фронтов являются зеркальным отражением облачности теплого фронта. На быстродвигающихся фронтах слоистообразная облачность отсутствует, остаются облака только конвективных форм. После прохождения фронта могут быть небольшие облачные скопления или отдельные облака конвективного происхождения.

Погода Узкая полоса осадков (100-200 км) около приземного положения фронта, сильный ливневой дождь непосредственно на фронте. Возможны грозы и град.

Температура: Обычно падает. Однако днем может немного повыситься за счет солнечного нагрева в чистом воздухе за фронтом.

Точка росы: После прохождения фронта падает.

Давление: Падает при приближении фронта, а после его прохождения быстро растет.

Приземный ветер: Слегка поворачивается влево (против часовой стрелки) и усиливается перед фронтом, а затем поворачивает вправо после прохождения фронта.

Ветер на высотах: Поворачивает влево с высотой.

Движение: Скорость смещения холодных фронтов составляет примерно 90-95% от скорости ветра на уровне 500 гПа.

Обычно холодные фронты смещаются несколько быстрее, чем теплые, и через некоторое время холодный фронт «догоняет» теплый и смыкается с ним. При этом возникает так называемый фронт окклюзии. Холодный воздух, как более тяжелый, вытесняет теплый воздух вверх, и в этом воздухе сохраняются основные облака и осадки. Если за холодным фронтом воздушная масса более холодная, чем перед теплым фронтом, то такой фронт

Массы воздуха то поднимаются вверх, то опускаются вниз (настоящая волна). При подъеме воздух охлаждается и может достичь насыщения, и как следствие — в этом районе образуется облачность. Вот по этой причине на небе мы иногда видим полосы или гряды облаков, которые чередуются с безоблачным пространством. При этом направление ветра всегда перпендикулярно полосе облаков. Глядя на направление (ориентацию) облачных полос, можно без всякого синоптического материала определять направление ветра на высотах, а чтобы не ошибиться в направлении ветра на 180 градусов нужно чуть-чуть понаблюдать за смещением облачной полосы.

Конвекция представляет собой неупорядоченные восходящие движения изолированных объемов воздуха (порций или пузырей), которые возникают или из-за неравномерного нагрева подстилающей поверхности, или из-за характера поля ветра. За счет термической конвекции (неравномерный нагрев подстилающей поверхности) очень часто возникают мощные облака, из которых выпадают ливневые осадки.

О *волновых движениях*, которые приводят к образованию облачных гряд, мы упоминали выше. Однако не только неровности рельефа, но и соприкосновение (взаимодействие) различных воздушных масс с разными характеристиками (ветер, температура, влажность и т.д.) может привести к образованию волновых движений на поверхности раздела. В гребнях волн происходит подъем воздуха, его охлаждение и конденсация водяного пара, т.е. образование облачности волнового характера. В долинах волн, где происходит опускание воздуха, облака не образуются и сохраняются полосы безоблачного пространства (просветов).

Упорядоченный подъем теплого воздуха по клину холодного воздуха происходит в зоне атмосферных фронтов, а также в областях сходимости воздушных потоков. Поднимающийся воздух охлаждается и достигает состояния насыщения. Такой подъем захватывает одновременно огромные массы воздуха. Вблизи линии фронта подъем воздуха происходит непосредственно от земной поверхности, а с удалением от линии фронта — с более высоких уровней. Скорость подъема воздуха не является одинаковой на всех участках фронта и на разных высотах. Это приводит к образованию многоярусной облачности и к расслоению сплошного облачного массива.

В настоящее время для характеристики облачности используется *международная классификация облаков*. По условиям об-

разования и внешнему виду нижней поверхности облака все облака подразделяются на три формы: *кучевообразные*, *волнистообразные* и *слоистообразные*.

Кучевообразные облака представляют собой отдельные облачные массы (кучки), растущие вверх при развитии и распространяющиеся по горизонтали во время разрушения. *Волнистообразные облака* — это распространенные по горизонтали облака, в которых можно выделить гряды, пластины или чешуйки (барашки). *Слоистообразные облака* это такие облака, которые наблюдаются над обширной территорией и имеют вид более или менее сплошной однородной пелены.

В зависимости от высоты нижней границы облаков все облака подразделяются на четыре класса. Всего насчитывается в этих четырех классах десять основных родов облачности.

Самые низкие облака — *облака нижнего яруса* имеют нижнюю границу на высотах практически от земли до 2000 м. К этому ярусу относятся *слоисто-кучевые*, *слоистые* и *слоисто-дождевые* облака.

Слоисто-кучевые облака (Stratocumulus) представляют собой серые облака, состоящие из крупных гряд (волн) или хлопьев, разделенных просветами. Толщина этих облаков 200-800 м. Располагаются слоисто-кучевые облака в виде правильных параллельных рядов или волн. Как правило, из этих облаков осадки не выпадают. Только в отдельных случаях возможно (крайне редко) выпадение слабых непродолжительных осадков преимущественно в холодную половину года.

Слоистые облака (Stratus) с земли воспринимаются как однородный слой серого цвета, очень напоминающий туман, поднятый над поверхностью земли. Часто нижняя поверхность этого слоя бывает разорванной. Толщина слоистых облаков колеблется в пределах 200-800 м, а высота нижней границы 50-500 м. Обычно слоистые облака закрывают все небо однородной серой пеленой. Осадки из этих облаков, как правило, не выпадают. Иногда летом из них выпадает морось, а зимой — редкий снег или мелкие снежные зерна.

Слоистые облака могут занимать огромные площади (вплоть до всей ЕЧР) и держаться неделями. Такие облака надолго всех жителей лишают солнечного света, а авиацию — летной погоды.

Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus). В той части фронтальной зоны, где фронтальная поверхность (а, следовательно, и облачность) ниже 2000 м, облака называются слоисто-дождевыми. Это темно-серый облачный слой, который при выпадении

осадков кажется однородным (на самом деле это не совсем так). Основание (нижняя граница) слоисто-дождевых облаков всегда размыто. Под слоисто-дождевыми облаками часто образуются разорванно-дождевые облака плохой погоды. Из этих облаков (слоисто-дождевых) практически всегда выпадают обложные осадки (дождь или снег). Нижняя граница облаков может опускаться до 100 м и ниже, а верхняя подниматься до 5-8 км. Основной причиной образования слоисто-дождевых облаков является охлаждение воздуха при его восходящем движении вдоль наклонной фронтальной поверхности.

Эти облака состоят из переохлажденных капель и ледяных кристаллов, а в нижней, более теплой части, - из крупных капель и снежинок.

Облака среднего яруса расположены в атмосфере таким образом, что их нижняя граница находится в диапазоне высот от 2000 до 6000 м. К облакам среднего яруса относятся *высококучевые* и *высокослоистые* облака.

Высококучевые облака (*Alto cumulus*). Высококучевые облака — это волнистые облака, нижняя граница которых расположена выше 2000 м. Они имеют капельножидкое строение. По внешнему виду это белые, иногда сероватые облака, состоящие из отдельных пластин или хлопьев. Из высококучевых облаков осадки, как правило, не выпадают. Только в холодный период возможно выпадение слабого очень мелкого снега. Толщина высококучевых облаков (вертикальная мощность) обычно не превышает 200-700 м.

Высокослоистые облака (*Alto stratus*) возникают почти исключительно на фронтальных разделах, особенно на теплом фронте. Эти облака представляют собой серую или синеватую однородную пелену, из которой могут выпадать слабые осадки обложного характера преимущественно в зимнее время.

Толщина высокослоистых облаков 1000-2000 м. Летом они имеют капельножидкое строение, и в верхней части состоят из переохлажденных капель, а зимой — из переохлажденных капель и снежинок и в верхней части — из ледяных кристаллов.

Если нижняя граница облачности находится на высоте более 6000 м, то такие облака относятся к *облачности верхнего яруса*. Это семейство включает в себя *перистые*, *перисто-кучевые* и *перисто-слоистые* облака.

Перистые облака (*Cirrus*) представляют собой отдельные белые волокнистые облака, обычно очень тонкие и прозрачные.

Эти облака всегда состоят только из ледяных кристаллов, имеют четко выраженную волокнистую структуру и никогда полностью не закрывают все небо. Обычно перистые облака располагаются на высотах 7-8 км и имеют толщину не более 1000 м.

Перисто-кучевые облака (Cirrocumulus) образуются при волновых движениях в верхней тропосфере. Это белые, очень тонкие облака (их толщина редко превышает 500 м), состоящие из очень мелких волн, хлопьев или ряби. Осадки из этих облаков, как и из перистых, никогда не выпадают.

Перисто-слоистые облака (Cirrostratus) представляют собой тонкую пелену, которая может охватывать весь небосвод. Эти облака состоят из ледяных кристаллов. Обычно это достаточно тонкие облака, и их вертикальная мощность не превышает 1000 м.

Это интересно:

Как известно, при полетах на больших высотах за самолетами иногда образуются конденсационные следы, которые внешне напоминают перистые или перисто-кучевые облака. Образуются они за счет конденсации водяного пара, содержащегося в газовом потоке самолетного двигателя.

Большая относительная влажность воздуха на высоте полета и низкая температура являются благоприятными условиями для конденсации водяного пара, т.е. для образования конденсационных облачных следов.

Время сохранения конденсационных следов может служить косвенным признаком эволюции облачности. Если след за самолетом сохраняется в течение 10 мин и более и уплотняется, то на высоте образования следа в течение ближайших 6 ч следует ожидать образования перистых облаков или их уплотнения.

Если конденсационный след сохраняется за самолетом менее 10 мин, то в ближайшие 6 ч облачность или не образуется, или следует ожидать растекание перистой облачности.

Совершенно очевидно, что синоптик с часами в руках не определяет время существования следа. Это делается качественно. Если после пролета самолета след «перечеркнул» все небо и не рассеялся, то можно считать, что время его сохранения больше 10 мин. Кроме того, след за самолетом может использоваться для качественного определения скорости и направления ветра на высоте полета самолета (по скорости и направлению смещения следа).

Первыми разрабатывать методику прогноза конденсационных облачных следов стали военные синоптики, так как след оказался хорошим демаскирующим признаком летящего самолета.

Характер облачного следа может сослужить хорошую службу синоптику при отсутствии метеорологической информации. Вот

пример использования следа для целей прогноза. Представьте себе, что след сохраняется больше 10 мин. Это значит, что облака будут уплотняться. Как известно, перистая облачность — предвестник теплого фронта, до которого примерно 600 км. Следовательно, считая скорость смещения фронта равной 30 км/ч, можно сказать, что примерно через 10 ч пойдет дождь, а потеплеет только на следующий день примерно через сутки. И еще. Если след смещается с юга на север, то это означает, что практически во всей тропосфере наблюдаются южные потоки, значит в ближайшее время ждать похолодания не следует. Если к этому прибавить еще и знание местных особенностей района, то даже только по одному следу прогноз погоды может получиться вполне приличный.

Последним, четвертым классом, выделены *облака вертикального развития*. Эти облака могут начинаться в нижнем ярусе и достигать очень больших высот, вплоть до тропопаузы. К облакам этого класса относятся *кучевые и кучево-дождевые* облака. Правда, иногда здесь отдельно выделяют *кучевые средние и мощно-кучевые* облака.

Кучевые облака (Cumulus) являются начальной стадией образования облаков вертикального развития. Возникают они обычно в теплый период года над сушей в утренние часы, днем достигают максимального развития, а вечером рассеиваются. Кучевые облака хорошо развиты по вертикали, имеют кучевообразные вершины и плоское основание.

В зависимости от местных условий и характеристик воздушной массы кучевые облака могут быть в виде отдельных редких облаков или их значительного скопления. Нижняя граница кучевых облаков находится на высотах 600-1500 м, а их вертикальная мощность может достигать нескольких километров.

Это интересно:

В народе существует такая примета: если после зимы на небе появились кучевые облака (на метеорологическом жаргоне их называют «кучевка»), то это значит, что наконец-то пришла настоящая весна.

Обычно и кучевые, и мощные кучевые облака состоят из капель. Из этих облаков никаких осадков, как правило, не выпадает. Только иногда из мощных кучевых облаков могут «срываться» отдельные капли дождя, но тогда это уже кучево-дождевые облака.

Кучево-дождевые облака (Cumulonimbus) являются последней стадией развития кучевых облаков перед началом их распада. При благоприятных условиях кучевые облака развиваются до

очень больших высот (в средних широтах до 10-11 км, а в южных — до 15-16 км и более). В верхней части облака сначала появляются переохлажденные капли, а затем — кристаллы. За счет капель кристаллы начинают расти, и достигнув больших размеров, когда их не могут удержать в воздухе вертикальные токи, выпадают на землю. На пути к земле кристаллы успевают растаять, и на землю проливается ливневой дождь. Вот почему нам всегда кажется, и кажется правильно, что дождь холоднее воздуха.

Это интересно:

Вертикальные токи в кучево-дождевом облаке могут достигать очень больших значений. Известны случаи, когда скорость восходящих токов в облаке равнялась 50 м/с, а нисходящих — 35 м/с. Это соответственно 180 и 125 км/ч. Представьте себе трубу диаметром в 10 км (размер облака), в котором воздушный поток направлен вверх со скоростью почти в 200 км/ч, да и поток вниз со скоростью 120 км/ч тоже впечатляет! Вот какая энергия есть в нашей атмосфере!

С кучево-дождевыми облаками связаны грозы, ливни, шквалы, град и другие опасные явления погоды. О тех «бедах», которые могут принести на землю кучево-дождевые облака и связанные с ними опасные явления погоды, мы с вами говорили выше.

Вне всякого сомнения, что на профессиональном уровне об облаках можно говорить очень много. Про облака каждого яруса написаны десятки, даже сотни различных статей. Им посвящены монографии. И все это оправдано важностью влияния облачности на человека и различные хозяйственные структуры. Подробную информацию об облаках разных форм вы всегда сможете найти в специальной литературе, а для общего «знакомства» с облачностью этого материала, пожалуй, будет вам достаточно.

9. АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ, ИХ ОБРАЗОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Капли воды или кристаллы льда, выпадающие из атмосферы на землю или осаждающиеся на земную поверхность, называются *осадками*. Необходимым условием образования осадков является укрупнение капель облака до таких размеров, при которых восходящие потоки в облаке уже не могут удержать эту «большую» каплю (об облачных каплях и мыльных пузырях мы с вами уже говорили). Процесс укрупнения облачных элементов

происходит в результате или конденсации (сублимации) водяного пара, или слияния (коагуляции) капель. Атмосферная турбулентность, которая в облаках, особенно облаках вертикального развития, развита значительно больше, чем в безоблачном воздухе, приводит к более быстрому росту капель и позволяет достичь этим каплям наибольшего размера.

В зависимости от формы выпадающих осадков принято различать следующие их виды:

1. *Морось* — осадки, состоящие из очень мелких капель, радиус которых не превышает 0,25 мм. Эти капли почти не имеют определенного направления движения. Они как бы «плавают» в воздухе, постепенно снижаясь. Морось выпадает из слоистых и слоисто-кучевых облаков (редко), а также при рассеянии тумана. При отрицательных температурах воздуха моросящие осадки могут быть переохлажденными (капли мороси могут иметь отрицательную температуру). Интенсивность осадков при мороси не превышает 0,2-0,3 мм/ч, а скорость падения капель в неподвижном воздухе колеблется в пределах от 0,3 до 2,0 м/с.

2. *Дождь* — представляет собой жидкие осадки, состоящие из более крупных капель, чем морось. Наблюдения показывают, что в дожде капель с радиусом более 3,2 мм не встречается. Такие большие капли, падая, сплющиваются и разбиваются на более мелкие. Скорость падения капель дождя составляет 4-8 м/с, а самые крупные капли имеют скорость падения 10 м/с. В холодное полугодие иногда выпадает переохлажденный дождь. В этом случае на земле и на различных предметах наблюдается гололед. Дождь выпадает из слоисто-дождевых, кучево-дождевых и иногда из высокослоистых облаков. Интенсивность дождя значительно больше, чем интенсивность мороси и зависит от того, из каких облаков выпадает дождь. Наиболее сильный дождь (дождь с наибольшей интенсивностью) выпадает из кучево-дождевых облаков. В этом случае интенсивность дождя может превышать 10 мм/ч. Если учесть, что в Петербурге в среднем за месяц выпадает 40-60 мм осадков, то один такой «хороший» дождь может вылить на землю почти месячную норму воды.

3. *Снег* — осадки в виде снежинок самой разнообразной формы и размеров. Наиболее простые формы снежинок это иглы, столбики, пластинки и звезды. Размеры снежинок могут быть разными. Обычно линейные размеры снежинок не превышают 4-5 мм. При температуре около 0°C снежинки слипаются и выпадают крупными хлопьями. Размеры хлопьев могут достигать боль-

шой величины. Средний радиус хлопьев снега равен 4 см, однако известны случаи, когда радиус хлопьев снега достигал 15-20 см! Снег выпадает из таких же по форме облаков, что и дождь, а наиболее сильный снег выпадает, естественно, из кучево-дождевой облачности. Самые крупные хлопья снега также наблюдаются в кучево-дождевой облачности, но для их образования нужен достаточно слабый ветер (2-4 м/с). Скорость падения снежинок меньше скорости падения капель дождя и составляет 3-5 м/с. Снег иногда выпадает вместе с дождем в виде тающих снежинок. Тогда эти осадки называют *мокрым снегом*.

Это интересно:

В северных районах России сильный ливневой снег называют «снежным зарядом». Такой снег действительно похож на заряд. Он внезапно налетает, продолжается сравнительно короткое время, но ухудшает видимость до десятков метров, моментально засыпает все дороги и взлетные полосы аэродромов. Даже не дожидаясь окончания такого «заряда», специальная служба «снегоборьбы» начинает ликвидировать последствия разбушевавшейся стихии. Наиболее часто такие заряды бывают в переходные сезоны года, а особенно часто наблюдаются весной.

4. *Крупа* - это вид осадков, состоящих из ледяных частичек или зерен снега. Радиус этих частиц колеблется от долей миллиметра до 8 мм. Крупа образуется в результате замерзания переохлажденных капель воды или замерзания капель воды на снежинках (обзёрнение снежинок). В зависимости от соотношения между снежной и ледяной частями крупинок этот вид осадков подразделяют (чисто визуально) на снежные зерна, снежную или ледяную крупу, которую часто считают разновидностью града. Обычно крупа образуется в облаках вертикального развития, имеет скорость падения до 10-20 м/с и выпадает сравнительно недолго.

5. *Град* — это вид осадков, который считается самым опасным во всех отношениях. Град выпадает из кучево-дождевой облачности. Размеры градин могут колебаться в значительных пределах: от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Известны случаи, когда вес отдельных градин превышал 2,0 кг! Скорость выпадения града в какой-то мере зависит от размера градины. Средняя скорость падения градин составляет примерно 20 м/с, а максимальная скорость падения града при любом его размере не превышает 50 м/с. Продолжительность выпадения града сравнительно невелика — 5-15 минут, но и за это время град может «наделать столько бед», что потом долго будешь помнить эти 5-15 минут с градом.

В зависимости от физических условий образования осадки подразделяются на *обложные, ливневые и морсящие*.

Обложные осадки. Это продолжительные по времени и очень большие по площади осадки средней интенсивности. Обложные осадки выпадают из облаков высокослоистых и слоисто-дождевых в виде дождя, снега и мокрого снега.

Ливневые осадки. Это осадки, выпадающие из кучево-дождевых облаков в виде дождя, снега, крупы или града большой, или даже очень большой интенсивности. Эти осадки внезапно начинаются, также внезапно прекращаются и резко меняют свою интенсивность за период их выпадения. Ливневые осадки часто сопровождается грозами и шквалами или просто заметным усилением ветра. Зонтник, с точки зрения обывателя, от ливневых осадков практически не спасает.

Морсящие осадки выпадают из плотных слоистых и слоисто-кучевых облаков, которые образуются в устойчивых воздушных массах. Такие осадки представляют собой или очень мелкие капли воды, или мелкие ледяные кристаллы. Самая большая беда морсящих осадков это «промоглая» погода и значительно ухудшенная видимость.

К осадкам, выделяющимся непосредственно из воздуха, относятся также *роса, иней, изморозь, жидкий и твердый налет*.

Это интересно:

В середине прошлого века ученые определили, что количество осадков, выпавших из облака, превышает запас воды в облаке в несколько раз. Это значит, что облако при своем движении «очень энергично» пополняет свои запасы воды из окружающего воздуха. Среднее значение отношения количества выпавших осадков к запасу воды в облаке близко к 20, а отношение площади облачной системы к площади, на которую из этой системы выпали осадки, примерно равно 2. Приведенные данные говорят о том, что вся масса воды в облаке (с учетом времени существования облака и количеством выпадающих осадков) обновляется практически каждые 3 часа.

10. ОРГАНИЗАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И СТРУКТУРА РОСГИДРОМЕТА

Для того чтобы синоптику разработать любой прогноз погоды или штормовое предупреждение в первую очередь нужна информация о погоде. Зная о том, какая погода наблюдается в

настоящее время, и какая погода была раньше, синоптик определяет, какая погода будет наблюдаться в дальнейшем, т.е. дает прогноз погоды. Иными словами, зная то, что *есть*, и то, что *было*, синоптик определяет то, что *будет*. Естественно, при этом необходимо учесть географическое положение района, для которого дается прогноз погоды, время года и время суток и т.д. Это требует от синоптика специальных знаний, без которых любой прогноз невозможен. Все это называется комплексным анализом атмосферных процессов при разработке прогнозов погоды. Основам такого анализа учат на специальных курсах (учебных дисциплинах) в РГГМУ и других учебных заведениях гидрометеорологического профиля.

Это интересно:

Хочется предложить вам, уважаемый читатель, несколько важных определений.

Прогноз погоды — научно обоснованное предвидение погоды. *Штормовое предупреждение* — прогноз опасного явления погоды. *Штормовое оповещение* — информация о начинающемся опасном явлении погоды. Если с прогнозами погоды все более или менее ясно, то со штормовыми предупреждениями и оповещениями иногда бывает путаница. Основная разница между предупреждением и оповещением заключается в том, что предупреждение — это прогноз, а оповещение — это информация о том, что уже имеет место. Иными словами, если вы прогнозируете, что будут падать «камни с неба», то это штормовое предупреждение, а если вы фиксируете, что «камни с неба» уже падают, то это штормовое оповещение. И еще одна разница между штормовым предупреждением и штормовым оповещением. Штормовое предупреждение (прогноз) разрабатывает и за него отвечает синоптик, а за своевременную информацию о наблюдающемся опасном явлении погоды (штормовое оповещение) несет ответственность метеонаблюдатель.

Таким образом, для того чтобы разработать прогноз, нужны сведения о параметрах атмосферы, которые получаются в результате метеорологических наблюдений. Совокупность таких сведений представляет собой *первичную метеорологическую информацию*. Первичная метеорологическая информация обычно видоизменяется и приводится к виду, удобному для использования метеорологической службой. Измененную первичную метеорологическую информацию уже называют *вторичной*. Наглядным примером трансформации первичной метеорологической информации во вторичную может служить следующее. Если собранные

вместе данные наблюдений о фактической погоде в каком-либо регионе (первичная информация) нанесены на один бланк карты, то получается карта погоды, которая является уже вторичной информацией.

Эффективность использования первичной метеорологической информации определяется ее точностью, полнотой и своевременностью получения потребителем.

В комплекс первичной метеорологической информации входят в настоящее время следующие параметры: атмосферное давление и его изменение во времени, температура и влажность воздуха и температура подстилающей поверхности, направление и скорость ветра, характеристики облачности (количество, форма и высота нижней границы), явления погоды (включая осадки, их вид и количество), а также горизонтальная дальность видимости. В некоторых случаях в состав первичной метеорологической информации могут включаться сведения о скорости вертикальных движений воздуха, загрязнении атмосферы, химическом составе воздуха и т.д. Важность того или иного параметра атмосферы для различных потребителей метеорологической информации разная.

Исходя из особенностей погодообразующих атмосферных процессов, существующих способов их анализа, методов прогноза погоды и требований практики к первичной метеорологической информации, к ней предъявляются следующие требования: *комплексность, трехмерность, глобальность, регулярность, оперативность и синхронность.*

Комплексность первичной информации заключается в обязательном включении в нее всех метеорологических величин и явлений погоды, о которых говорилось выше. Требование *трехмерности* означает необходимость включения в результаты наблюдений информации не только о метеорологических величинах, измеренных у земной поверхности, но и измеренных до предельно возможных высот в атмосфере. Требование *глобальности* заключается в том, что при разработке прогнозов погоды площадь, с которой необходимо иметь информацию о погоде, должна быть значительно больше площади, для которой дается прогноз (например, для прогноза погоды по Санкт-Петербургу на сутки необходимо иметь информацию о погоде на площади 3000х3000 км). *Регулярность* первичной метеорологической информации заключается в проведении наблюдений в установленные сроки, без пропусков и в полном объеме. *Оперативность* подразумевает быстрое и своевременное поступление первичной метеороло-

гической информации к потребителю. Несоблюдение этого правила, естественно, обесценивает эту информацию (дорога ложка к обеду). *Синхронность* — это требование проведения наблюдений в одни и те же сроки на всей сети метеорологических станций.

Наблюдения на всех метеорологических станциях, входящих в международную сеть станций, проводятся синхронно в сроки 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 ч по Гринвичу. Сроки 00, 06, 12 и 18 ч называют *основными сроками*, а остальные сроки называются *дополнительными*.

На аэрологических станциях наблюдения (зондирование атмосферы) производятся четыре раза в сутки в 00, 06, 12 и 18 ч, причем сроки 00 и 12 ч считаются основными, а 06 и 18 ч — дополнительными.

Таким образом, все метеорологические и аэрологические станции, которые включены в международную сеть, производят наблюдения и предоставляют потребителям первичную метеорологическую информацию.

Гидрометеорологическое обеспечение всех структур в России осуществляют организации Росгидромета. В настоящее время Росгидромет является Федеральной службой, которая не входит в состав никакого министерства, а непосредственно подчиняется премьер-министру Российской Федерации.

Это интересно:

До недавнего времени Росгидромет был самостоятельным комитетом, входящим в правительство на правах министерства. В то время в средствах массовой информации можно было слышать, что по прогнозу МЧС ожидается сложная обстановка в таком-то районе. Всегда такие речи вызывали удивление: откуда в МЧС прогноз?! Прогнозы должен был давать (и давал) Росгидромет, а вот решения по этим прогнозам должны были принимать различные структуры МЧС.

Основной задачей Росгидромета является обеспечение метеорологической информацией населения и всех видов хозяйственной деятельности в стране, т.е. прогнозами погоды разного назначения и на различные сроки. Это очень важная и очень ответственная работа, так как погода интересует всех.

Непосредственно гидрометеорологическое обеспечение осуществляется региональными управлениями по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). В настоящее время на территории России действует 24 таких управления. В составе каждого УГМС есть свой Гидрометцентр, который обес-

печивает оперативной метеорологической информацией все структуры в зоне своей ответственности. Кроме того, существует своя авиационная метеорологическая служба, метеослужба, обеспечивающая работу железнодорожного транспорта, и военная гидрометеорологическая служба. Задачи этих служб очевидны, а структуру специальных служб мы рассматривать не будем.

Система Росгидромета включает ряд оперативных и научных учреждений, которые обеспечивают все виды деятельности службы погоды. К таким организациям относятся Гидрометцентр России («мозг метеослужбы»), Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ), Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО), Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (ВНИИГМИ — МЦД), Институт прикладной геофизики, Институт экспериментальной метеорологии, региональные научно-исследовательские институты Росгидромета и другие организации.

Всю техническую работу по приему и передаче метеорологической информации ведут различные радиометеорологические центры и организации связи, созданные при каждом УГМС. На структуре этих организаций мы остановимся чуть ниже.

11. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В настоящее время практически все метеорологические величины могут измеряться дистанционно. Это значит, что наблюдателю совсем не нужно подходить к прибору, а достаточно только установить в нужном месте датчики и в помещении метеостанции — регистрирующий прибор. Более того, часть параметров атмосферы (например, ветер на высотах) можно измерить только дистанционно.

Это интересно:

По существующему положению на аэродромах информация о погоде должна при необходимости обновляться через две минуты. Это значит, что наблюдатель должен в течение одного часа побывать на метеорологической площадке ... 30 раз! Многовато получается. Здесь уж точно без дистанционных приборов не обойдешься.

Для проведения дистанционных наблюдений за различными метеорологическими величинами, безусловно, существуют

дистанционные приборы и даже целые системы и станции. Так на наших аэродромах получили большое распространение системы КРАМС (комплексная радиотехническая автоматическая метеорологическая станция) различных модификаций, которые со временем будут заменены на систему АМИИС (автоматическая метеорологическая информационно-измерительная система). Остатываться на устройстве той или иной системы мы не будем.

Дистанционное измерение различных характеристик атмосферы поднимаемыми приборами называется аэрологическим зондированием атмосферы. Различают ветровое зондирование — измерение скорости и направления ветра шарами-пилотами и радиопилотами, температурно-ветровое зондирование — измерение температуры и влажности воздуха на различных высотах, а также направления и скорости ветра, самолетное зондирование — измерение различных параметров атмосферы с помощью приборов, установленных на самолете, и аэростатное, ракетное и спутниковое зондирование — измерение параметров атмосферы с помощью приборов, установленных на соответствующих носителях. Во всем мире наибольшее распространение получило ветровое и температурно-ветровое зондирование. Кроме того, достаточно широко распространено в настоящее время радиолокационное и спутниковое зондирование атмосферы.

Шаропилотное зондирование. На специальных аэрологических станциях и на аэродромах проводятся шаропилотные наблюдения, которые позволяют определить скорость и направление ветра на различных высотах. Суть этих наблюдений заключается в следующем. Наблюдатель (аэролог) на земле наполняет шаропилотную оболочку водородом (примерно как детский воздушный шарик), по специальным таблицам определяет вертикальную скорость шара, затем выпускает шар и наблюдает за ним в оптический теодолит. Шар, естественно, летит вверх и сносится ветром. По времени, прошедшему после выпуска шара-пилота, и по азимуту и углу места, определенных с помощью теодолита, можно определить направление и скорость ветра на различных высотах.

Это самый простой и самый дешевый дистанционный метод проведения аэрологических наблюдений. Обычно вертикальная скорость шара близка к 200 м/мин, а высота подъема шара, т.е. та высота, до которой можно проводить наблюдения за ветром, колеблется от 20 до 30 км. Высота подъема шара зависит от качества шаропилотной оболочки и качества ее подготовки к выпуску, а вот высота, до которой проводятся наблюдения за

шаром, зависит от погоды — совершенно очевидно, что после того, как шар вошел в облака с помощью оптического теодолита определить его местоположение в пространстве невозможно. Кстати, с помощью шаропилотных наблюдений можно определять и высоту нижней границы облачности (по вертикальной скорости шара-пилота и во времени наблюдения за ним до его входа в облака).

Температурно-ветровое зондирование. Наблюдения с помощью радиозонда являются более сложным дистанционным видом аэрологических наблюдений. Радиозонд представляет собой устройство, которое позволяет не только дистанционно измерять атмосферное давление (высоту), температуру воздуха и его влажность, но и с помощью специального радиопередатчика передавать эту информацию на наземную «принимающую» радиостанцию. Более того, эта принимающая радиостанция «следит» за радиозондом как за обычным шаром-пилотом и позволяет определить направление и скорость ветра на различных высотах.

Конструкция радиозондов бывает разная, скорость их подъема колеблется около 300 м/мин, масса прибора зависит от типа радиозонда и может меняться от 500 до 1000 г, а высота подъема — до 25-30 км и более. Конструкторы и производители приборов непрерывно работают над уменьшением веса и увеличением высоты подъема радиозондов.

Информация, полученная с помощью радиозондов, используется различными специалистами-метеорологами для разработки прогнозов погоды разного назначения, составления карт барической топографии и других целей. Это очень полезная и ценная информация для специалиста.

Об аэростатном, самолетном и ракетном зондировании атмосферы мы с вами говорить не будем.

Радиолокационное зондирование. Основным средством получения радиолокационной метеорологической информации является метеорологическая радиолокационная станция (МРЛ), а кроме нее могут использоваться для этих же целей самолетные и диспетчерские радиолокаторы. Будем считать, что общий принцип работы радиолокационной станции вам известен.

С помощью МРЛ можно определить:

- форму и размеры облаков, их местоположение, а также положение связанных с этими облаками метеорологических явлений, таких как грозы, ливни, град и т.д.;
- скорость и направление перемещения зон кучево-дождевых облаков и зон осадков как ливневого, так и обложного характера;

- эволюцию кучево-дождевой облачности;
- тенденцию изменения характеристик отдельных облаков и облачных систем;
- площадь, занятую осадками различной интенсивности и целый ряд других характеристик.

Радиолокационные наблюдения производятся без запуска каких-либо приборов в атмосферу и позволяют получить в короткое время информацию с достаточно большой территории, даже из тех районов, где нет никаких метеорологических станций. Действительно, радиус действия МРЛ примерно равен 300 км, а скорость вращения антенны 6 об/мин. Следовательно, метеоролог меньше чем за одну минуту может получить данные об облачности на расстоянии до 300 км от места расположения радиолокатора. Все перечисленное выше является большим преимуществом радиолокационного зондирования по сравнению с другими методами изучения атмосферы, однако этот метод имеет и существенные недостатки. Прежде всего, специальный метеорологический радиолокатор — очень «дорогое удовольствие», приобретение, установка и эксплуатация которого требует значительных средств. Кроме того, радиус действия МРЛ ограничен техническими возможностями локатора, и как любое радиотехническое устройство, МРЛ подвержен радиопомехам.

Однако, если в распоряжении метеоролога есть радиолокационная информация, то он чувствует увереннее при решении своих задач, при разработке прогнозов погоды и штормовых предупреждений.

Спутниковое зондирование атмосферы. Спутниковое зондирование предназначено для анализа атмосферных процессов, разработки прогнозов погоды и изучения климата. Метеорологические искусственные спутники Земли (ИСЗ) снабжены комплексом научной аппаратуры для получения необходимой информации о состоянии атмосферы и земной поверхности и служебной аппаратурой, предназначенной для поддержания нормальной работы всех приборов и спутника в целом.

Обычно на ИСЗ устанавливается телевизионная аппаратура, предназначенная для получения снимков облачности и подстилающей поверхности на освещенной части орбиты, и инфракрасная аппаратура, предназначенная для получения изображений облачности на теневой стороне Земли.

Научная аппаратура метеорологических спутников работает в двух режимах: в режиме запоминания информации и ее пе-

риодического сброса на Землю или по команде, или при работе по заданной программе, а также в режиме непосредственной передачи результатов измерений в моменты их выполнения (в режиме реального времени). Прием и регистрация спутниковой информации осуществляется наземным комплексом аппаратуры, от характеристик которой зависит качество и объем принимаемых данных.

С помощью ИСЗ можно получать профили вертикального распределения температуры и влажности в атмосфере, а по смещению облачности — информацию о ветре. Таким образом данные ИСЗ позволяют сделать как бы более густой сеть аэрологических станций, что очень важно при разработке прогнозов погоды.

12. СИСТЕМА СБОРА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В основе работы по гидрометеорологическому обеспечению всех структур любой страны лежит сбор и распространение метеорологической информации. Действительно, трудно представить себе работу любого прогностического центра, если туда не поступает ни одного сообщения о погоде. Зная только «погоду над собой» невозможно грамотно разработать прогноз погоды даже на небольшой срок.

Поэтому сбору и распространению метеорологической информации уделялось и уделяется большое внимание.

Источники информации могут быть различными: от метеорологического спутника Земли до обычной наблюдательской метеостанции, и откуда бы эта информация не поступала, она должна быть своевременной, поступать с минимальными искажениями и быть репрезентативной.

К основным источникам метеорологической информации относятся:

- наземная сеть метеорологических станций;
- сеть станций зондирования атмосферы;
- сеть международного обмена;
- сеть автоматических станций;
- средства разведки погоды;
- метеорологическая космическая система.

Каждый из источников информации не является универсальным, и удовлетворить требования метеослужбы можно только пользуясь всеми перечисленными источниками одновременно.

Наземная сеть метеорологических станций позволяет получить большой объем необходимой информации, однако часто его оказывается недостаточно для разработки прогнозов погоды.

Как известно, погода не признает никаких государственных границ, поэтому кроме нашей внутренней сети станций необходимо использовать *сеть международного обмена*. В каждой стране есть своя сеть станций, и по международной договоренности (на то и существует ВМО) все страны предоставляют информацию о погоде на своей территории для всеобщего пользования.

Сеть автоматических станций составляют станции, установленные в труднодоступных районах. Эти станции обычно четыре раза в сутки передают сведения об измеренных метеорологических величинах. Станции автоматической сети передают информацию с неосвоенной территории, и это очень хорошо, однако на таких станциях не выполняются аэрологические наблюдения. Кроме того, для передачи информации в центры погоды требуется ретрансляция через ИСЗ.

К *средствам разведки погоды* следует отнести средства радиотехнической и воздушной разведки.

Радиотехническая разведка проводится с помощью различных радиолокационных станций. Основными объектами наблюдений являются облака вертикального развития, ливни и грозы. Специальные метеорологические локаторы (МРЛ), кроме того, дают возможность наблюдать за облаками всех других ярусов, различать зоны осадков определенной интенсивности и т.д. Об этом мы рассказывали вам чуть раньше.

К *средствам воздушной разведки* относятся воздушные суда без пассажиров на борту, которые в сложной и неустойчивой метеорологической обстановке могут выполнять специальные полеты для оценки метеорологических условий. Эти полеты проводятся по решению командира авиационного отряда (руководства авиапредприятия).

Воздушная разведка позволяет определить вертикальную структуру облачности, видимость в облаках, под облаками и в явлениях, ухудшающих видимость, наличие опасных для авиации явлений погоды и т.д. К участию в полетах на воздушную разведку могут привлекаться синоптики АМСГ, если они имеют на это специальное разрешение.

Это интересно:

Иногда синоптиков, выполняющих полеты на разведку погоды, называют «заложниками», так как они сами дают прогноз, сами

консультируют экипаж, сами садятся в самолет и сами летят смотреть, насколько хорошо они все сами «напрогнозировали».

Воздушная разведка в гражданской авиации проводится сравнительно редко — это дорогое удовольствие. Намного чаще информацию о погоде, наличии опасных явлений и их влиянии на взлет, полет и посадку передают экипажи взлетающих или пролетающих воздушных судов, а также воздушные суда, заходящие на посадку.

Метеорологическая космическая система позволяет получить очень большой объем информации. Наблюдения с МСЗ принимаются на наземных пунктах приема информации и передаются синоптикам для анализа. В малоосвещенных районах и над акваторией морей и океанов для оценки погодных условий данные МСЗ оказывают неоценимую помощь.

Различные виды метеорологической информации, получаемые из разных источников, в значительной мере дополняют друг друга и в конечном счете помогают успешно решать задачи по метеорологическому обеспечению различных хозяйственных структур.

Сбор и распространение метеорологической информации в каждом УГМС осуществляют специальные подразделения. Информацию со «своей» территории в УГМС может собираться по проводным или радиоканалам связи в зависимости от того, где находится та или иная метеорологическая станция, которая сообщает первичную информацию. Информация от соседних (и не только соседних) УГМС, а также зарубежная информация о погоде принимается только по проводным каналам по так называемой АСПД (автоматической системе передачи данных). По системе АСПД передается основной объем информации. В рамках Росгидромета создана сложная информационно-вычислительная система с целым рядом специфических функций, обусловленных особенностями технологического процесса обработки гидрометеорологических данных: их глобальностью, разнообразием видов информации, разноплановостью назначения, необходимостью применения как объективных, так и субъективных методов контроля. АСПД представляет собой совокупность справочно-информационной и обрабатывающей систем. С точки зрения системотехники АСПД может быть условно разделена на отдельные уровни, каждый из которых характеризуется определенным классом выполняемых задач. Снизу вверх идет информационный поток в виде данных метеорологических измерений, а сверху вниз — поток переработанной информации в виде диагностических и прогностических карт. Подобная структура построения АСПД

определяет четкое разграничение функций как по сбору исходной информации, так и по ее дальнейшей переработке.

Все опорные пункты гидрометеорологической сети группируются по районам со своим центром сбора первичной информации — территориальным гидрометеорологическим центром (ТГМЦ). Такой ТГМЦ является научно-оперативным органом, осуществляющим сбор, обработку и анализ поступающей информации, проводит научные исследования гидрометеорологического режима по закрепленной территории, ведет разработку прогнозов различного назначения, выполняет климатические и гидрологические расчеты. Например, практически для всего северо-запада России таким ТГМЦ является гидрометцентр Северо-Западного УГМС, расположенный в Санкт-Петербурге.

По такому же принципу организована Всемирная Служба Погоды (ВСП). Она включает в себя три системы: глобальную систему наблюдений (ГСН), глобальную систему телесвязи (ГСТ) и глобальную систему обработки данных (ГСОД).

ГСН состоит из сети метеорологических и аэрологических станций (выше мы говорили о станциях международного обмена) и метеорологических спутниках Земли.

ГСОД состоит из трех мировых метеорологических центров (Вашингтон, Москва, Мельбурн), 24 региональных метеорологических центров (РМЦ) и национальных метеорологических центров (НМЦ). Весь земной шар поделен на 24 крупных региона. Метеорологическая информация из каждого поступает в «свой» РМЦ. Там она обрабатывается и распространяется потребителям в виде карт, схем и прогнозов по региону. В России находятся три РМЦ: в Москве, Новосибирске и Хабаровске.

Аналогичную работу ведут и мировые метеорологические центры (ММЦ), но их зона ответственности значительно больше. Так Вашингтон отвечает за весь земной шар, Москва за северное полушарие, а Мельбурн — за южное полушарие. ММЦ осуществляют функцию хранения данных. Московский ММЦ имеет специальное учреждение в г. Обнинск (Мировой центр данных), где хранится информация метеорологических наблюдений со всего земного шара.

Глобальная система телесвязи организована на трехступенчатой основе:

- главная магистральная цепь связывает ММЦ, региональные узлы телесвязи (РУТ), РМЦ и НМЦ;
- региональные сети телесвязи;

— национальные сети телесвязи.

Все РМЦ и ММЦ имеют равный доступ к главной магистральной цепи. Кроме того, РМЦ и ММЦ имеют непосредственную связь между собой.

Метеорологическая информация, поступающая по АСПД, содержит данные всемирной системы зональных прогнозов (ВСЗП). ВСЗП — международная система, обеспечивающая представление в единообразной стандартной форме всех метеорологических прогнозов. ВСЗП состоит из согласованной на межгосударственном уровне сети всемирных и региональных центров зональных прогнозов (ВЦЗП и РЦЗП). При этом основным назначением такой системы является обеспечение возможно более точных зональных прогнозов на рентабельной основе с учетом соответствующих требований, утвержденных Всемирной метеорологической организацией (ВМО).

Принятие на себя государством каких-либо обязательств по обеспечению ВЦЗП и/или РЦЗП следует рассматривать как обязательство предоставлять высококачественные данные по зональным прогнозам в плане их точности, своевременности и общего удовлетворения эксплуатационных требований. Это подразумевает наличие соответствующего персонала, соответствующих данных и соответствующих технических средств.

На сегодняшний день ВСЗП состоит из двух всемирных центров (Лондон и Вашингтон) и пятнадцати региональных центров, один из которых находится в Москве.

Если по каким-то причинам к синоптику не поступила нужная сводка, то он посылает запрос в один из Банков данных. Получение ответов на запросы происходит по служебному каналу АСПД. Существует всего пять Мировых банков данных, которые расположены в Москве (Внуково), Вене, Брюсселе, Вашингтоне и Бразилиа. Для российских центров погоды предпочтительнее обращаться к зарубежным банкам данных, так как они, в отличие от банка данных во Внуково, за метеорологическую информацию и сам ее запрос не требуют оплаты.

13. ВИДЫ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИХ РАЗРАБОТКИ

Метеорологическая служба разрабатывает много различных прогнозов погоды как по сроку их действия, так и по методике прогнозирования.

По сроку, на который разрабатывается прогноз, прогнозы погоды бывают:

- сверхкраткосрочные прогнозы — срок действия до 12 часов;
- краткосрочные прогнозы — срок действия 12-36 часов;
- среднесрочные прогнозы — срок действия до 2 недель;
- долгосрочные прогнозы — срок действия более двух недель (чаще всего месяц или сезон).

В региональных гидрометеоцентрах, как правило, разрабатываются сверхкраткосрочные и краткосрочные прогнозы погоды, в отдельных метеорологических центрах могут разрабатываться среднесрочные прогнозы погоды, а вот долгосрочные прогнозы разрабатываются только крупными метеорологическими центрами и региональными управлениями по гидрометеорологии. При разработке каждого вида прогнозов есть свои особенности, поэтому синоптику нельзя «с одной меркой» подходить к разработке прогнозов на различные сроки.

По назначению прогнозы погоды бывают:

- общего пользования (для населения);
- специализированные (для различных отраслей хозяйства).

По принципу разработки прогнозов прогнозы бывают:

- инерционный прогноз — это прогноз по инерции. Считается, что в дальнейшем погода будет такая же, как и сейчас. При прогнозе погоды на сутки оправдываемость инерционных прогнозов близка к $2/3$, т.е. к 67%;
- климатологический прогноз — это всегда долгосрочный прогноз, в основу которого положен анализ и учет климатических данных;
- случайный (слепой или полуслепой) прогноз — это прогноз, который дается без какого-либо научного подхода к его составлению, т.е. прогноз «с потолка». Оправдываемость таких прогнозов, естественно, равна 50% (или будет, или нет);
- экстраполяционный прогноз — прогноз, который разрабатывается с учетом правил линейной или физической экстраполяции;
- методический прогноз — прогноз, разработка которого основана на использовании какой-либо методики. Оправдываемость таких прогнозов бесспорно зависит от качества применяемой методики, ее эффективности.

По представлению результатов прогнозирования прогнозы погоды бывают:

- альтернативные (да — нет, будет — не будет);

- вероятностные (в процентах вероятности возникновения явления).

Это интересно:

- в литературе, когда речь идет о прогнозах погоды, «борются» между собой два термина: «разработка» прогноза и «составление» прогноза. Авторы склонны думать, что прогноз все-таки разрабатывается синоптиком, а не составляется, поэтому в своих работах они отдают предпочтение первому термину «разработка» прогноза;
- по поводу случайных или слепых прогнозов иногда в шутку говорят, что все они разрабатываются по одной формуле: $A = 4C + 3П$, где A — любая прогнозируемая величина, $4C$ — четыре стены в комнате, на которые нужно посмотреть при прогнозировании, а $3П$ — это потолок, пол и ... палец, которые помогут дать окончательный и «очень точный» результат прогноза;
- нет сомнений в том, что в принципе все метеорологические прогнозы имеют какую-то вероятность, и всем метеорологическим органам было бы удобней давать прогнозы в вероятностной форме. К сожалению, этому, как могут, сопротивляются потребители метеорологической информации. Дело в том, что при альтернативных прогнозах решение по любому хозяйственному вопросу принимает метеослужба, принимает синоптик (в прогнозе указана гроза, и авиационный диспетчер не разрешает посадку самолета, в прогнозе указано, что будет метель, и коммунальные службы города готовят к работе снегоочистительную технику и т.д.). Из этих примеров читателю должно быть ясно, что командует всем «начальство» по альтернативному прогнозу синоптика. Здесь еще нужно подумать, на ком из этих двух лиц лежит большая ответственность, но у «начальства» в лице синоптика всегда есть «стрелочник». Если же прогноз дается в вероятностной форме, то исчезает «стрелочник», и руководство должно само принимать решение на какие-либо действия. Действительно, если синоптик сказал в одном случае, что вероятность грозы 70%, а в другом 30%, то в такой ситуации на вопрос «Что делать?» ответ должен дать сам диспетчер. Мы, метеослужба любого ранга, безусловно, должны помогать руководству принять правильное решение, и мы это делаем, но очень обидно и несправедливо все время «ходить в стрелочниках».

Основные методы разработки прогнозов погоды следующие:

Синоптический метод прогноза. Этот метод основан на комплексном анализе синоптиком приземных синоптических и коль-

цевых карт погоды, карт барической топографии, различных прогностических карт, составленных численными методами, и других материалов. Синоптик, проанализировав всю имеющуюся в его распоряжении информацию, делает заключение о возможности возникновения того или иного явления. Этот метод прогноза достаточно оперативен, прост и используется очень широко. Главным недостатком этого метода является то, что результаты прогноза зависят от опыта синоптика, т.е. метод является субъективным.

Это интересно:

Если рядом с синоптиком, который разрабатывает какой-либо прогноз синоптическим методом, посадить не очень сведущего человека, то ему может показаться, что синоптик ничего не делает. Он просто так сидит, смотрит то на одну, то на другую карту, молча кивает головой и вдруг дает прогноз. Внешне это часто именно так и выглядит. Однако за молчаливыми кивками головой у синоптика скрыта очень напряженная работа мысли, которая постороннему не видна. Ведь весь анализ синоптик выполняет устно, быстро не прибегая к каким бы то ни было средствам расчета. Не зря и сейчас говорят, что основным «оружием» синоптика является карандаш и резинка.

Расчетный метод прогноза. Этот метод заключается в том, что синоптик для получения результата должен рассчитать какие-то параметры или величины. При этом имеется в виду, что средствами расчета должна быть не ЭВМ, а в лучшем случае калькулятор. В качестве примера использования расчетного метода прогноза можно привести расчет числа Ричардсона для какого-нибудь слоя атмосферы или определение высоты нижней границы облаков по полуэмпирическим формулам, используя которые и калькулятор-то не всегда нужен.

Из сказанного выше очевидно, что расчетный метод прогноза подразумевает простые вычисления, простую вычислительную технику и быстрое получение результата прогноза.

Численный метод прогноза. Это также расчетный метод прогноза, но в данном случае подразумевается, что для выполнения всех расчетов используется ЭВМ. Поэтому иногда некоторые авторы при классификации методов разработки прогнозов погоды расчетный и численный методы прогноза объединяют в одну группу, справедливо считая, что в обоих методах нужно что-то считать, но различными техническими средствами.

С этой точки зрения с авторами можно согласиться, но все-таки между расчетным и численным методом прогноза разница

есть. При расчетном методе прогноза для получения конечного результата, как правило, рассчитывается один параметр, т.е. используется только одна формула, а при численном методе используются целые модели.

Вот типичный пример численного прогнозирования. В качестве исходных данных используется поле давления и (или) геопотенциала на большой территории (часто по всему полушарию) и на нескольких уровнях в атмосфере (до 50 уровней). Эти данные фиксируются в узлах сетки с шагом 500, 300 и даже 50 км. Затем, используя какую-либо численную модель, с помощью ЭВМ выполняются расчеты поля давления или геопотенциала для большой территории на различных уровнях. Расчеты (прогнозы) делаются на срок от 1 до 12 часов, затем, принимая новое поле за исходное, выполняются следующие расчеты на 1 — 12 часов и т.д. сроком до десяти суток. Естественно, на калькуляторе такую работу не выполнишь. Более того, программисты считают, что наиболее трудоемкими и объемными задачами для ЭВМ в настоящее время являются игра в шахматы на хорошем уровне и прогнозирование погоды. Эти задачи требуют от компьютера большой памяти и быстрого действия. Для решения прогностических задач на базе современной компьютерной техники специалистам по численным прогнозам приходится упрощать полные уравнения термогидродинамики, создавать различные модели, которые не всегда успешно «работают» в различных условиях и на разной территории. Это и привело к созданию очень большого числа самых разнообразных численных прогностических моделей.

Это интересно:

Само слово «модель» звучит красиво. Однако в старые добрые времена, когда ученые еще не придумали для своих исследований этого слова, они говорили проще: «предположим». Нельзя не согласиться с тем, что модель (любая) это тоже предположение. В тех случаях, когда какой-либо погодный процесс проходит по примененной расчетной модели (по нашему предположению), то можно быть уверенным, что в этом случае наш прогноз оправдается, ну а если нет — значит мы использовали в данной ситуации не самую лучшую модель. Так что, не обижая «численников» (за ними будущее), можно сказать, что модель это предположение и упрощение реальных атмосферных процессов, несмотря на то, что в этой области достигнуты большие успехи погодных условий.

Физико-статистический метод прогноза. В основу физико-статистического метода прогноза положена связь между какой-

нибудь метеорологической величиной и ее физической зависимостью от другого параметра атмосферы. Например, известно, что при отрицательных температурах воздуха туман часто возникает при относительной влажности менее 100%, поэтому для каждого пункта можно установить зависимость между температурой воздуха, относительной влажностью и возможностью возникновения тумана. Использование такой зависимости при прогнозе тумана и будет как раз физико-статистическим методом прогноза. Этот метод прогноза объективен, достаточно прост, позволяет быстро получить результат прогноза, но может использоваться только регионально.

Синоптико-статистический метод прогноза. В основу синоптико-статистического метода прогноза положена статистическая связь между каким-либо явлением погоды и той синоптической ситуацией, в которой это явление наблюдается. Данный метод, как и предыдущий, объективен, прост, быстро позволяет получить результаты прогноза, но тоже является региональным.

Комплексное использование всех существующих методов прогноза погоды, плюс наличие опыта работы, плюс знание местных особенностей возникновения опасных явлений погоды позволяет метеорологической службе успешно решать поставленные перед ней задачи.

14. ПОГОДА И АДМИНИСТРАЦИЯ РЕГИОНА

Очень тяжело даже начинать, а не только писать этот раздел. Дело в том, что метеорологическая служба в России относится к государственной службе, т.е. финансируется из государственного бюджета. Это значит, что она финансируется плохо. В бюджете России и всех субъектов федерации нет отдельной строки, посвященной финансированию метеослужбы. Мы идем под литером «Прочие расходы». Вот отсюда и начинаются все наши беды.

- В своих работах и отчетах теперешний руководитель Росгидромета А.И. Бедрицкий приводит несколько интересных цифр:
- метеорологическая служба России — прибыльная служба. Один рубль, вложенный на содержание или развитие метеослужбы, уменьшает экономические потери России на 8,3 рубля. Вот если бы это было не уменьшение потерь, а прибыль в 8,3 рубля, то тогда бы к нашей службе относились бы с большим уважением;

- ежегодно потери народного хозяйства России от погодных условий составляют примерно 20 млрд. \$. Если метеослужба совсем перестанет работать, то эти потери удвоятся и будут равны 40 млрд. \$;
- в настоящее время непредотвратимые потери от погоды для народного хозяйства в среднем составляют 50-60%, потери, которые можно предотвратить уже сейчас, воспользовавшись специализированным прогнозом, близки к 20-30%, а потери, которые можно предотвратить в будущем, составляют 10-20%;
- основной ущерб от гидрометеорологических условий несут следующие отрасли народного хозяйства: агропромышленный комплекс (60% от общего ущерба по стране), энергетика (8,5%), транспорт (8,5%), коммунальное хозяйство (8,9%), строительство (6,8%), лесное хозяйство (3,1%), связь (2,6%) и топливно-энергетический комплекс (1,6%).

Сами по себе цифры впечатляют, особенно если вспомнить о величине государственного бюджета.

Если еще раз посмотреть на цифры, приведенные А.И. Бедрицким, то можно сказать следующее. *Безусловно*, все отрасли народного хозяйства несут значительные убытки от погодных условий. *Безусловно*, все отрасли народного хозяйства заинтересованы в своевременном получении грамотного специализированного прогноза. *Безусловно*, обеспечить своевременно все отрасли народного хозяйства грамотным специализированным прогнозом погоды может только такая метеослужба, которая отвечает современным требованиям и оснащена по последнему слову техники. *Безусловно*, такое оснащение метеорологической службы стоит денег, и немалых, которых нет в бюджете России. *Безусловно*, метеослужба должна финансироваться из бюджетов тех отраслей народного хозяйства, для которых она разрабатывает прогнозы погоды.

Таким образом, если такие отрасли как *сельское хозяйство, энергетика, транспорт, коммунальное хозяйство, строительство, лесная промышленность, связь и ТЭК* будут передавать часть средств, которые помогла им сэкономить метеослужба, на поддержание этой службы, то проблем со специализированными прогнозами для отдельных отраслей народного хозяйства было бы значительно меньше.

Давайте немножко посчитаем. Итак, по данным Росгидромета уже сейчас, грамотно используя специализированные про-

гнозы погоды, народное хозяйство России может предотвратить 20-30% всех потерь. Пусть это будет 20%, т.е. 4 млрд. \$. Если из этих средств всего ? передавать на содержание метеослужбы, то метеослужба от потребителей своей информации будет получать ежегодно около 1,0 млрд. \$. И это, не считая денег, которые можно получать от средств массовой информации, страховых компаний, Министерства обороны и МЧС.

Нет смысла говорить о том, что, мягко говоря, в настоящее время метеослужба финансируется из государственного бюджета в значительно меньших объемах. Такой подход к решению проблемы финансирования метеослужбы позволит совсем прекратить ее финансирование из бюджета и позволит всей метеослужбе, начиная от сети гидрометеорологических станций и кончая учреждениями по подготовке метеорологических кадров, достойно существовать, развиваться и идти в ногу со временем. Естественно, что, переходя на такой способ финансирования, все правовые вопросы должны быть решены в законодательном порядке в первую очередь.

В настоящее время очень остро стоит вопрос об оснащении метеорологических вычислительных центров современной вычислительной техникой. Еще совсем недавно специалисты по вычислительной технике (мы говорили вам об этом чуть раньше) отказались решать в компьютерном варианте две задачи: играть в шахматы и заниматься разработкой прогнозов погоды. Обе задачи требуют от ЭВМ огромного быстродействия и огромного объема памяти. Сейчас эти проблемы вроде бы решены, но стоимость современного компьютера «не по зубам» для метеослужбы.

И еще одно обстоятельство. В последние годы происходит заметное разрушение сети гидрометеорологических станций. Значительно меньше стало и метеорологических наблюдательских станций, и гидрологических станций и постов, и аэрологических станций, и метеорологических радиолокаторов и т.д. Мы уже не говорим о метеоспециалистах, которые из-за мизерных окладов разбегаются кто куда. Разрушить все «до основания» или почти до основания достаточно просто, но восстановление всего разрушенного (а восстанавливать придется обязательно) потребует очень больших средств и значительного времени. Не хотелось бы, чтобы «на самом верху», решая проблемы метеослужбы, вторично наступили бы на «собственные грабли».

И последнее. Один современный пассажирский самолет стоит (только «железо») несколько десятков миллионов долларов,

один корабль или паром — несколько сотен миллионов долларов. Даже если метеослужба в течение года предотвратит катастрофу только одного самолета и только одного парома, то она уже полностью окупит, и не один раз, свое теперешнее финансирование. Смеем вас уверить, уважаемый читатель, что метеослужба оказывает народному хозяйству значительно больше полезных услуг, чем один спасенный самолет и один паром.

Таким образом, можно считать, что основные потребители метеорологической информации нам известны. Следовательно, нам известны и основные (пока только возможные) источники финансирования метеослужбы, включая и государственный бюджет. Хочется надеяться на мудрые решения всех, от кого в той или иной мере зависит высокий стандарт и экономическое положение метеорологической службы. Ведь не секрет, что даже в среде «больших чиновников» редко встретишь человека, который в течение дня хотя бы раз не поинтересовался погодой. Очень не хочется обманывать «больших людей».

Многие авторы пытались и пытаются оценить тот экономический ущерб, который наносят опасные и неблагоприятные явления погоды народному хозяйству. Здесь нельзя не вспомнить наших ученых Н.А.Багрова, Г.П. Вимберга, Е.Е. Жуковского, В.И. Кондратюка, Э.И. Монокровича и основателя экономической метеорологии Л.А. Хандожко.

Мы не будем анализировать и разбирать «по косточкам» подходы к решению проблемы другими авторами, а предложим свой подход, который, на наш взгляд, не лишен здравого смысла.

Сначала мы подошли к решению данной проблемы с двух сторон. Мы оценили, какие опасные явления погоды влияют на ту или иную отрасль промышленности (например, на лесное хозяйство влияет сильный ветер, грозы, высокая пожароопасность и т.д.), а затем уже оценили на какие отрасли влияет то или иное опасное явление погоды (например, сильный ветер оказывает заметное влияние на сельское хозяйство, лесное хозяйство, коммунальные службы и т.д.). В результате учета только основных причин, из-за которых возникают экономические потери в отрасли, мы получили следующую картину.

Выше мы качественно (почти без цифр и сумм) оценили потери, которые несет народное хозяйство России от опасных и неблагоприятных явлений погоды. Ниже будут приведены различные цифры, которые позволят оценить вклад того или иного опасного явления на некоторые отрасли народного хозяйства.

Все цифры давались с большим трудом. К сожалению, методика оценки потерь от погодных условий пока еще не разработана. Только суммируя и анализируя отдельную разрозненную информацию, удалось получить ориентировочную оценку влияния явлений погоды на различные отрасли хозяйства. Мы не будем утруждать вас, уважаемый читатель, всеми тонкостями наших расчетов. Просто скажем, что в качестве исходной информации нами использовались данные о площади того или иного региона, количестве жителей, проживающих в том или ином районе, данные об интенсивности транспортных перевозок в различных регионах, информацию о лесных пожарах и нанесенном ущербе, которую можно «выудить» из наших СМИ. Так как исходная информация получена в разные годы, то для большей стабильности результатов все суммы, все потери будут нами указаны в долларах, а не в рублях.

Вот пример наших расчетов. Из данных ЦСУ известно, что сельскохозяйственные угодья (пашня, сенокосы, пастбища и сады) в России составляют 222,3 млн. га. По данным Росгидромета сельское хозяйство России ежегодно терпит убытки от опасных и неблагоприятных явлений погоды в размере 10 млрд. \$. Простая арифметика говорит о том, что каждый гектар сельскохозяйственных угодий несет убытки в размере 45\$, из которых 30 — непредотвратимые потери, а за остальные 15 можно «побороться».

Аналогичным образом получены и остальные реперные цифры. Вот несколько ориентировочных цифр, которые могут быть отправными при решении самых разнообразных экономических задач:

- Средняя величина ущерба от погодных условий для Петербурга и Ленинградской области составляет около 900 млн. \$ в год.
- В Ленинградской области 21.07.1999 года наблюдался град, размером до 5 см в диаметре (вес градин до 50 г). Ущерб от такого града составил около 400 тыс. \$.
- Продление отопительного сезона в Петербурге только на одни сутки приводит к дополнительным затратам в 170 тыс. \$.
- На отопление одного квадратного метра жилой площади в год затрачивается примерно 3 \$.
- При разумном отоплении (по существующим нормам) уменьшение среднесуточной температуры на 1 градус приводит к дополнительным затратам только на европейской территории России в 700 тыс. \$ в сутки.
- В Европе 1 кВт/ч электроэнергии стоит в среднем 0,04 \$.

- Один погонный метр современной взлетно-посадочной полосы стоит около 20000 \$, а погонный метр современной автострады — 7000 \$.
- Закрытие всех аэропортов России на 1 час приносит убытки в 300000 \$.
- Одна тонна авиационного керосина стоит примерно 200 \$, а Ту-154 за один час полета «съедает» около 7,5 тонн.
- Один час работы техники по очистке аэродрома Пулково от снега стоит примерно 3000 \$.
- Работа одного трактора по очистке улиц от снега стоит около 10 \$ в час.
- Одноразовая посыпка всех улиц Петербурга песочно-солевой смесью стоит около 240 тыс. \$. С одной стороны, это, конечно, много, но с другой — это всего-то два-три приличных «мерседеса».
- Экономические потери по дополнительному уходу за дорогами из-за неблагоприятных погодных условий составляют 25 тыс. \$ в год на 100 км дорог.
- Стоимость восстановления одного обрыва воздушной линии связи составляет около 5000 \$.
- Стоимость восстановительных работ в Петербурге при различных повреждениях из-за сильного ветра составляет в среднем 100 тыс. \$ на одно повреждение.
- Одна гроза в среднем наносит убытки народному хозяйству в 70 тыс. \$.
- В лесу на одном гектаре растет около 100 кубометров леса, и если лес гибнет из-за пожара или по другим причинам, то ущерб составляет 1000\$.
- Простой одного башенного крана в течение часа оборачивается для строителей ущербом в 150 \$.
- Восстановление одной опоры магистральной ЛЭП обходится энергетикам в 200 тыс. \$.
- Простой на линии одного вагона трамвая, автобуса или троллейбуса оборачивается для транспортного предприятия ущербом в 7-10 \$ за час простоя в городе с населением до 500 тыс. человек и в 10-15 \$ - в городе с населением больше 500 тыс. человек.

Вне всякого сомнения, все приведенные цифры могут быть уточнены в результате более детального анализа более достоверной информации.

Ну а «голубая мечта» автора создать по безбумажной технологии «Атлас экономических потерь народного хозяйства России от неблагоприятных и опасных явлений погоды». Хотелось бы, чтобы этот атлас позволял из базы данных «вытаскивать» любую информацию, в любом сочетании и проводить для выбранного пакета изолинии потерь по федеральным округам или субъектам федерации России.

На наш взгляд, приведенная в этом разделе информация должна быть полезна руководителям любого региона для принятия грамотных решений по уменьшению потерь региона от неблагоприятных и опасных явлений погоды.

15. ПОГОДА И СРЕДСТВА МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Пожалуй, нет ни одного периодического издания, ни одной радиостанции, которые в той или иной форме не сообщали бы своим читателям, зрителям или слушателям информацию о погоде. Действительно, погода интересует всех, и все СМИ заинтересованы в получении достоверной информации о погоде и прогнозах погоды. Естественно, что «спрос» на погоду возрастает перед выходными и праздничными днями, в период возможных весенних и осенних заморозков, в период сбора урожая на дачных участках и т.д.

Способы представления информации о погоде в прессе во многом зависят от художественного вкуса и профессионализма редактора, а также от финансовых возможностей издания (компаний). Безусловно, за информацию о погоде все СМИ платят различным метеорологическим организациям или частным лицам какие-то деньги, но мы с вами не будем обсуждать финансовую сторону вопроса. Это дело менеджеров. Здесь хотелось бы остановиться на трех проблемах.

Во-первых, если взять из разных СМИ информацию о погоде для одного и того же района на один и тот же срок, то «разброс» результатов прогноза окажется огромным. Это производит очень неприятное впечатление, особенно, если сразу прочитать или прослушать несколько разных источников информации. Между тем ни в одной газете вы не найдете данных о том, откуда получена эта информация. На наш взгляд, это неправильно. Любая газета, любая программа телевидения, любая радиостанция вправе «вещать» то, что считает нужным, однако следует ссылаться на источник информации. Если информация о погоде получена

из какой-либо метеорологической организации, то эту организацию нужно назвать. Если же какой-то, пусть даже очень опытный, синоптик анализировал информацию, полученную в Интернете, и по этой информации разработал прогноз погоды, то на наш взгляд, следует назвать и фамилию этого синоптика, и тот сайт в Интернете, с которого была взята исходная информация. На худой конец, пусть в газете будет напечатана (или названа вслух в передаче) фамилия редактора, готовившего текст с информацией о погоде.

Во-вторых, очень часто различные СМИ передают информацию о погоде в разной последовательности. Даже одна и та же радиостанция сначала передает данные об атмосферном давлении, потом о влажности воздуха, а на следующий день наоборот (справедливости ради нужно сказать, что у всех всегда на первом месте информация о температуре воздуха, когда передаются данные о фактической погоде). Для слушателей и читателей это не очень удобно. Было бы намного лучше, если бы порядок передачи этой информации был единым для всех. Решить этот вопрос, в принципе, достаточно просто.

В-третьих, существует еще вот такая проблема. Дикторы многих радиостанций (а они «грешат» больше других) для красного словца после прогноза погоды любят добавлять фразу, что надеются на то, что на этот раз их синоптики не подведут. Если хотите, это уже профессиональная обида на работников радиостанций. Это, пожалуй, то же самое, если бы я сказал, что надеюсь на то, что, читая этот выпуск новостей, диктор заикаться не будет.

16. ПОГОДА И ЗДОРОВЬЕ

Очень многие люди реагируют на погоду и ее изменение. Различными авторами в России и за рубежом предложено большое количество разнообразных методик и показателей для определения влияния погодных условий на состояние здоровья человека. Все они достаточно сложны, предназначены только для специалистов и как следствие - редко используются в практических целях.

Нами разработана простая методика определения *метеорологического индекса здоровья* (МИЗ), который позволяет любому человеку, способному сосчитать сдачу в магазине, оценить, как погода и ее изменения будут влиять на его самочувствие. Для этого нужно только прослушать сообщение о погоде, передаваемое по радио, и посмотреть в окно.

В качестве метеорологических характеристик, влияние которых мы учитываем, выбраны, с одной стороны, самые значимые, а с другой - наиболее доступные для понимания любым человеком. Такими характеристиками оказались температура воздуха, атмосферное давление, скорость ветра, относительная влажность воздуха, наличие облачности и осадков, а также величина изменения температуры и давления за прошедшие сутки. Итого нами при расчете МИЗ используется и учитывается восемь характеристик атмосферы. Оценка влияния погоды на человека проводилась по так называемым «баллам комфортности» для каждого элемента отдельно. Наиболее комфортные значения температуры воздуха, атмосферного давления и других параметров взяты нами из различных трудов российских и зарубежных ученых-медиков и биологов. Для каждого элемента максимальный балл комфортности принят нами равным пяти, а минимальный - нулю. Конкретные значения баллов комфортности для различных метеорологических величин приводить здесь, пожалуй, нецелесообразно.

Метеорологический индекс здоровья не дает никаких медицинских рекомендаций, а просто предупреждает, какое влияние будет оказывать на вас сегодняшняя погода, и позволяет оптимально спланировать на день свою физическую, деловую и интеллектуальную активность.

Интересной особенностью МИЗ является то обстоятельство, что каждый человек может определять МИЗ только применительно к своей реакции на погоду. Например, температуре воздуха 30°C по общей шкале соответствует балл комфортности, равный 3. Однако одному при такой температуре будет слишком жарко, и он поставит вместо 3 баллов 1, а другому эта температура покажется комфортной, и может оценить ее в 5 баллов и т. д. В этом случае достигается получение собственного (индивидуального) метеорологического индекса здоровья, соответствующего только вашей реакции на погоду. На наш взгляд это выглядит достаточно логичным, так как понятно, что житель Якутии будет испытывать в Сочи такой же дискомфорт, что и сочинец в Якутске.

Если МИЗ определять по фактической погоде, то в этом случае получается оценка влияния фактической погоды на человека, т.е. период действия такой оценки будет небольшим. Если же определять МИЗ по прогностической информации (по прогнозу погоды), то период оценки влияния погоды на человека будет равен периоду, на который разработан прогноз погоды. Если же в качестве исходной информации использовать климатические

характеристики, то мы получим комфортность условий проживания в том или ином регионе России и не только России.

Предварительный анализ исследований дал несколько неожиданные результаты. Например, наиболее комфортными условиями проживания на территории России являются южные районы ЕЧР, что вполне естественно, а также Приморский край и район Колымы. Самыми сложными условиями для проживания на территории России являются районы северо-запада ЕЧР, северная часть Красноярского края и район озера Байкал. Исходя из сказанного, пожалуй, есть смысл подумать о дополнительных льготах и надбавках тем лицам, которые живут и работают в условиях повышенного дискомфорта. Это непростой вопрос, но его целесообразно обсуждать хотя бы на первых порах в порядке постановки.

Метеорологический индекс здоровья может быть использован при решении самых разных задач, о которых на первый взгляд даже и не задумываешься. Например, метеорологический индекс здоровья может быть использован в спорте, бизнесе, военном деле и т.д.

Теперь уже можно говорить и о зарождении метеорологии для бизнесменов. К автору этих строк неоднократно обращались деловые люди с просьбой дать подробный прогноз на следующий день. На вопрос о том, для каких целей это нужно, был получен ответ, что на завтра намечено деловое совещание, и «наш проситель», зная, чем болеют его участники (как они реагируют на ту или иную погоду), хочет это учесть при заключении сделки с кем-нибудь из участников совещания с большей для себя выгодой. Так что погода становится не только элементом боевой обстановки, как говорят в армии, но и элементом спортивной и деловой обстановки, и наиболее дальновидные люди самых разных сфер деятельности это начинают понимать и учитывать и использовать в своей работе.

И для пояснения своей мысли о зарождении метеорологии для бизнесменов или деловой метеорологии вот такой пример. Если я знаю, что мой шеф любит ясную и тихую погоду и очень раздражителен в дождь, как вы думаете, стоит у него просить надбавку к зарплате, если за окном ливень?

17. ПОГОДА И СПОРТ

Погода и спорт очень тесно связаны между собой. Грамотный тренер, грамотный спортсмен обязательно должны учитывать характер погодных условий в период соревнований (прогноз

погоды), а тренер дополнительно обязан знать реакцию каждого спортсмена на то или иное явление погоды.

Значения МИЗ, особенно индивидуального МИЗ, и разработанные прогнозы погоды помогут спортсмену и его тренеру определить тактику ведения спортивной борьбы в любом виде спорта, даже если соревнования проводятся под крышей, или выбрать наилучший состав спортивной команды на день соревнований. Предположим, что тренеру по легкой атлетике необходимо из пяти кандидатов выбрать оптимальный состав команды для эстафетного бега 4x100 метров. На первый взгляд здесь ничего трудного нет. Нужно включить в команду тех, у кого к этому времени в беге на 100 метров показаны лучшие результаты. На практике так часто и делается. Однако если я знаю прогноз погоды на период соревнований или просто знаю, какая температура воздуха на стадионе, можно поступить иначе. Если мне, тренеру, известно, что на стадионе будет 30°C, а мой «первый номер» при такой температуре «раскисает» и не сможет как следует пробежать свой этап, то в этом случае лучше данного спортсмена на этих соревнованиях посадить на скамейку запасных. Зато в следующий раз при более благоприятной погоде мой «первый номер» покажет все, на что он способен. Правда, для этого я должен хорошо знать всех своих спортсменов, знать при какой погоде и на что они способны и знать прогноз погоды. Это одна грань взаимодействия погоды и спорта.

Вторая грань взаимодействия погоды и спорта заключается в том, что погода затрудняет, а иногда и исключает возможность проведения соревнований на открытом воздухе. Например, при температуре воздуха ниже -21°C отменяются лыжные гонки из-за возможности обморожения гонщиков на дистанции. При температуре воды ниже 22°C в соревнованиях по триатлону спортсмены должны плыть 1500 м в гидрокостюме, при видимости менее 100 м во время снегопада отменяются или переносятся соревнования по биатлону. Сильный ветер мешает проведению соревнований по прыжкам на лыжах с трамплина, а штиль исключает проведение соревнований по парусному спорту. Кроме того, при попутном ветре в 2 м/с и более не засчитываются рекорды в беге на 100 и 200 м, а также по прыжкам в длину и тройном прыжке. Перечень таких погодных явлений, которые как-то ограничивают проведение соревнований по тому или иному виду спорта, можно продолжить. Однако, даже из приведенных примеров, читателю должна быть понятна суть проблемы.

Третья грань проблемы — сроки проведения соревнований. Известно, что календарь соревнований, особенно международных, составляется задолго до их проведения. В этом плане для оптимального планирования (установления) сроков проведения тех или иных соревнований обязательно нужно учитывать климатические характеристики района, где они будут проводиться. Например, в районе Санкт-Петербурга в первых числах января проводился один из этапов Кубка мира по лыжным гонкам (сейчас эти соревнования не проводятся). Все замечательно, но первые дни января в Санкт-Петербурге часто бывают без снега, и часто эти соревнования находились под угрозой срыва. Если бы эти соревнования были запланированы на конец февраля — начало марта, то таких проблем со снегом никогда бы не было.

По климатическим данным и по климатическим значениям МИЗ были выбраны оптимальные сроки проведения Олимпийских игр в Санкт-Петербурге в 2004 году, но, к сожалению, эта информация не была востребована — Олимпийские игры состоялись в Афинах, а не в Санкт-Петербурге. А вот в Афинах, похоже, не учли климатические характеристики региона. По климатическим данным в Афинах в период Олимпийских игр возможны днем температуры воздуха 35-40°C (и это в тени на высоте 2 м от поверхности земли!). Не лучше ли было для спортсменов и зрителей перенести Игры на более поздний срок. Ведь организаторам Игр и о спортсменах, и о зрителях следовало бы подумать. Жаль, что этого не произошло.

И еще одна грань взаимодействия погоды и спорта. Наш университет хотел установить договорные отношения со стадионом «Петровский», и для руководства стадиона разрабатывать прогнозы погоды по их заявке. Деловых отношений у нас не получилось. Дело в том, что календарь соревнований утвержден на год вперед, и как раньше писалось в афишах: «Матч состоится при любой погоде». Если это так на самом деле (а это на самом деле так), то зачем руководству стадиона прогноз погоды? Администрацию стадиона интересует только первый и последний снег в году для того, чтобы знать, когда включить, а когда выключить подогрев футбольного поля. С прогнозом погоды ни администрация стадиона, ни тренерский совет любой команды до каждого спортсмена «дойти» не сможет. Вот поэтому метеорологическая информация в спортивных сферах пока не очень востребована, однако, на наш взгляд, все-таки уже можно говорить о зарождении спортивной метеорологии.

18. ПОГОДА И ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ СТРУКТУРЫ

Все, что нами было сказано выше, должно было убедить вас, уважаемый читатель, в том, что практически нет ни одной отрасли промышленности, ни одной хозяйственной структуры, на которую не оказывали бы влияние условия погоды. Даже если руководству отрасли кажется, что погода ну никак не может повлиять на производство, качество продукции и, в конечном счете, на прибыль, то оно ошибается. Ведь промозглая погода «достанет» сотрудников любой отрасли со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Нам хотелось бы обратить ваше внимание вот на какую проблему.

В России существует акционерное общество «РАО ЕЭС». Это, в своем роде, монополисты. Живут хорошо. В России существует акционерное общество ОАО «Газпром». Это, в своем роде, также монополисты. Живут хорошо. В России есть Федеральное агентство «Росгидромет». Они тоже монополисты, но не живут, а существуют. **ПОЧЕМУ?**

Мы очень долго искали ответ на этот вопрос. В результате многих консультаций со специалистами самого разного толка в общем виде нам представляется следующая картина.

Во-первых, что бы мы не говорили, как бы нам не было обидно, следует признать, что метеорологическая служба относится к сфере обслуживания. Продукция нашей службы (прогнозы погоды) используется практически всеми как в личных, так и в служебных целях.

Во-вторых, в метеорологической службе очень плохо организованы маркетинговые исследования и менеджмент. Иными словами, мы не знаем, кому, как и за сколько можно продать нашу (монопольную) метеорологическую информацию. Как ни странно, но туристические фирмы, страховые компании, автомобильный транспорт и многие, многие другие обходятся без информации о погоде. А все дело в том, что за сервисные услуги, естественно, нужно платить и, естественно, платить не хочется. Вот и поступают руководители фирм и целых отраслей так, что вроде бы обходятся без данных о погоде. На самом деле эти фирмы используют прогноз погоды общего пользования, который метеорологическая служба обязана представлять руководству регионов и различным государственным СМИ (ведь метеорологическая служба — государственная служба). Такой подход экономит фирме деньги до тех пор, пока по погодным условиям не произойдет

какое-то «ЧП», которое трудно было предположить по прогнозу общего пользования. Вот тогда «вспоминают» про метеослужбу, вспоминают часто недобрыми словами и очень часто ругают несправедливо.

В-третьих, руководство хозяйственных структур по полученному прогнозу погоды должно принять грамотное погодо-хозяйственное решение. Это очень непростое дело. Для начала нужно быть грамотным специалистом в той области, где ты работаешь, и не просто работаешь, а руководишь производством. Кроме того, нужно уметь принимать решения и отвечать за них. Это тоже сложно, и мало кто хочет брать на себя «лишнюю головную боль». Проще всю вину переложить на плечи метеослужбы (а мне так дали, мне так сказали). Но, повторяю, принять правильное, грамотное решение по прогнозу общего пользования очень сложно, и если предприятие экономит на специализированных прогнозах погоды, которые учитывают его интересы, то обязательно затратят большую сумму на ликвидацию последствий своей экономии. Проблема метеорологических рисков и метеорологической «перестраховки» - это проблема экономической метеорологии. Мы не будем освещать ее подробно, будем считать, что мы ее «обозначили».

Ну и четвертая проблема заключается в том, что хотелось бы, чтобы в метеослужбе тот, кто с «сошкой», был не совсем отстранен от «ложки». Справедливости ради, следует сказать, что это беда, эта проблема существует и, к сожалению, не только в метеорологической службе.

19. ПОГОДА И ЭКОНОМИКА

Для оценки и анализа потерь экономики того или иного региона от погодных условий необходимо иметь (знать) климатические характеристики региона, характеристику экономического потенциала региона и знать величину потерь каждой отрасли от различных неблагоприятных и опасных явлений погоды. Такую информацию получить достаточно трудно. Меньше всего проблем возникает с получением климатических характеристик региона — необходимые данные есть в различных климатических справочниках (и здесь метеорологическая служба открыта, доступна и бесплатна!). Данные об экономическом потенциале региона можно получить в статистическом управлении региона. Какая-то часть этой информации достаточно открыта, а для того, чтобы собрать все необходимые данные — придется потрудиться.

Сложнее всего «добыть» информацию о конкретных убытках (потерях) того или иного предприятия или отрасли от неблагоприятных и опасных явлений погоды. Далеко не все руководители хотят делиться такими данными. Однако только на основе таких данных об экономических потерях можно провести достаточно грамотный анализ.

Информация об экономических потерях отрасли региона в сочетании с климатическими характеристиками дает возможность определить *метеорологические риски*. Используя полученные данные о величине метеорологических рисков, руководитель каждой отрасли, предприятия или компании должен суметь принять грамотное хозяйственное решение с учетом имеющегося в его распоряжении прогноза погоды. Об этом мы упоминали выше.

Если величину метеорологических рисков определять по климатическим данным, то мы получим среднюю величину потерь отрасли (предприятия) за какой-то срок (месяц, сезон, год). При определении величины метеорологических рисков по долгосрочному прогнозу, мы получим прогнозируемое значение экономических потерь отрасли (предприятия) за срок прогноза.

И еще одно обстоятельство. В принципе можно получить какие-то условные (реперные) единицы, условные потери в отрасли на единицу продукции (такие цифры были приведены выше) от того или иного опасного явления погоды, а затем, с учетом экономического потенциала другого региона, определять величину метеорологического риска (экономических потерь) в любом регионе России, и не только России.

Следовательно, учитывая все сказанное выше, можно сделать вывод, что для прогнозирования возможных потерь региона от неблагоприятных и опасных явлений погоды, необходимо принимать во внимание следующие моменты:

- экономический потенциал региона, который определяется количеством трудовых ресурсов, объемом производственных мощностей промышленных и строительных предприятий, производственными возможностями сельского хозяйства, протяженностью транспортных магистралей и наличием транспортных средств, объемом природных ресурсов. От этого зависит уровень развития отраслей, а в конечном итоге — роль каждой из них в структуре регионального производства (или в структуре валового регионального продукта).
- климатические особенности региона, определяемые повто-

ряемостью и распределением неблагоприятных и опасных явлений погоды.

Для оценки и исследования особенностей формирования ущерба региона от неблагоприятных и опасных явлений погоды необходимо создать информационную базу, включающую климатические данные, сведения о структуре убытков по отраслям и потерях региона от опасных явлений погоды. Выбирая произвольное сочетание отрасли и опасных явлений погоды, можно получить данные о размере ущерба и его распределении по территории в различные периоды времени.

Нам представляется, что такая база данных должна в себя включать следующие элементы:

1. Климатическую информацию, содержащую среднее число дней с неблагоприятными и опасными явлениями погоды по месяцам и в целом за год.
2. Для каждой отрасли должен быть создан перечень неблагоприятных и опасных явлений погоды с указанием их весовых коэффициентов при определении экономических потерь.
3. Сумма средних потерь для каждой отрасли региона за год.

Все расчеты сводятся к определению средних потерь отрасли от одного конкретного погодного явления. Исходя из климатических данных о повторяемости и распределении неблагоприятных и опасных явлений погоды, получаем сведения об ущербе региона. В зависимости от поставленной задачи, информация может иметь различное временное разрешение, а также может быть представлена для конкретного пункта или определенной территории. Результаты обработки информации выводятся на печать и предоставляются потребителю в удобном для принятия решения виде — в виде таблиц, графиков, карт или диаграмм.

20. ПОГОДА И ЭКОЛОГИЯ

В разных словарях дается различное, хотя и похожее, толкование слова «экология». Так, в метеорологическом словаре С.П. Хромова просто написано, что *экология* — это учение о взаимных связях между организмами и средой. Словарь иностранных слов дает более расширенное определение этому понятию. Слово «*Экология*» произошло от греческих слов *oikos* — дом, жилище, родина и *logos* — понятие, учение. *Экология* — это раздел биологии, изучающий взаимоотношения организма с окружающей средой. Выделение экологии в самостоятельную науку условно,

потому, что любая биологическая дисциплина должна рассматривать организм в единстве с условиями существования.

На экологическую обстановку в любом районе земного шара действуют как глобальные процессы, которые медленно, но верно изменяют окружающую среду, так и синоптические процессы, которые на короткий срок могут улучшить или ухудшить среду обитания, т.е. экологическую обстановку в том или ином регионе.

Многие ученые в России и за рубежом занимаются глобальными проблемами изменения климата всей планеты или какого-то отдельного государства (материка). При этом изучаются проблемы загрязнения атмосферы и водных объектов, сокращения лесов, загрязнения прибрежных морей, увеличения площади пустынь, истощения озонового слоя, повышения уровня мирового океана и ухудшения здоровья населения. Круг глобальных экологических проблем достаточно велик и разнообразен.

Хочется привести здесь несколько «глобальных» цифр, которые показывают, как безжалостно человек относится к своей среде обитания:

- до начала земледелия на планете Земля леса покрывали 62 млн. км² суши, а сейчас — только 36 млн. км²;
- в среднем на каждого жителя планеты ежегодно добывается около 20 т сырья, которые перерабатываются с использованием 800 т свежей воды и 2500 Вт мощности. А ведь полученные из этого сырья продукты потребления — это так называемые «отложенные отходы»;
- продукты потребления для каждого человека обходятся матушке-природе перемещением примерно 400 т горной породы в год, а также нарушением 2 м² поверхности земли;
- мощность всех вулканов и гейзеров на Земле примерно в 100 раз меньше антропогенной мощности, получаемой за счет сжигания ископаемого топлива, т.е. человек примерно в 100 раз больше загрязняет атмосферу, чем это может сделать сама природа;
- в России в 1991 году суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, основную роль в которых играют отходы от сжигания топлива, составили 53 млн. т;
- в развитых странах мира каждый человек «создает» ежедневно 1,0-2,5 кг бытовых отходов.

Таким образом, благополучная жизнь индустриально развитых стран достигается очень большой ценой. Чтобы поднять уровень жизни всех людей до «нормального», следует (по Ю.П. Пе-

реведенцеву) увеличить потребление сырья, энергии и воды хотя бы на один порядок, т.е. в 10 раз, однако ресурсы нашей планеты не беспредельны.

Мы не будем подробно останавливаться на глобальных экологических вопросах. Отметим только, что природоохранная деятельность в любой стране в условиях интенсивного антропогенного воздействия на окружающую среду должна решать триединую задачу: сохранение и восстановление природных экологических систем, обеспечение безопасного проживания населения и обеспечение устойчивого развития экономики.

Говоря о погоде и экологии, в первую очередь следует изучать и рассматривать процессы, которые могут заметно ухудшить здоровье людей, проживающих в том или ином регионе. Здесь следует вернуться к тому разделу книги, в котором мы рассказывали о том, какую опасность представляет то или иное опасное или неблагоприятное явление погоды. Становится очевидно, что и с точки зрения экологии следует прогнозировать погоду, информировать о прогнозе погоды население, различные хозяйственные и административные структуры, и уже эти структуры должны принимать грамотные решения, исходя из нашего прогноза.

Экологическая опасность основных явлений погоды заключается в следующем:

— *Температура воздуха* — низкие температуры приводят к выходу из строя отопительных систем со всеми вытекающими отсюда последствиями, нулевые температуры — к повышенному травматизму населения, а высокие температуры в сочетании с повышенной влажностью воздуха — к повышенной вероятности возникновения различных эпидемий. Кроме того, инверсии температуры приводят к образованию смога, а неустойчивая стратификация атмосферы, наоборот, к подъему и переносу вредных примесей на достаточно большое расстояние.

Это интересно:

В прессе любят говорить о том, что в России мало внимания уделяют экологическим проблемам. Пожалуй, это верно, но западным странам по этому поводу особенно беспокоиться не стоит. Дело в том, что существующая циркуляция атмосферы обеспечивает западный перенос воздушных масс. Следовательно, все воздушные массы смещаются с запада на восток. Поэтому практически всегда при любых вредных выбросах в атмосферу мы загрязняем сами себя, а вот Европа нам в буквальном смысле слова портит воздух.

— *Атмосферное давление* само по себе не представляет собой экологической опасности. Однако резкие изменения давления приводят к сильным ветрам, а с ними и к пыльным бурям, и значительному ухудшению самочувствия многих людей.

— *Интенсивные осадки* — это, прежде всего, проблемы ливневой канализации, качества питьевой воды, различные инфекционные заболевания и т.д.

— *Сильные ветры и шквалы* — также «достойны» того, чтобы заниматься их прогнозом.

Перечисление опасных и неблагоприятных явлений погоды можно продолжать, однако это будет уже повторение того, что было написано выше. Все явления погоды нужно изучать, уметь прогнозировать, уметь оценивать ущерб от этих явлений и грамотно предупреждать население и различные хозяйственные структуры о возможной опасности и экономическом ущербе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вы, уважаемый читатель, только что закончили изучать (читать или просматривать) данное учебное пособие. В нем мы попытались охватить и показать вам в достаточно простом изложении многие атмосферные процессы, их взаимосвязь и их влияние на деятельность человека. В пособии затронуты вопросы, которые раньше не обсуждались на страницах метеорологических учебников. Безусловно, всего изложенного здесь мало, очень мало, для того, чтобы стать грамотным метеорологом. Для глубоких знаний по специальности есть хорошие учебники, громадные «кирпичи». Однако если вы занимаетесь маркетингом в области метеорологии или являетесь представителем для связи с общественностью какой-либо метеорологической организации, или являетесь менеджером по продажам метеорологической продукции, то это учебное пособие как раз для вас.

Очень надеемся, что это учебное пособие будет вам полезно.

Все замечания и пожелания, связанные с содержанием и структурой пособия, которые автор с благодарностью примет, направляйте по адресу:

Россия, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98,

РГГМУ, Богаткину Олегу Георгиевичу.

E-mail: bogatkin@rshu.ru.

**Ministry of Education and Science
of the Russian Federation
Russian State Hydrometeorological University
(RSHMU)**

O. G. Bogatkin, G. G. Tarakanov

BASICS of METEOROLOGY

Training aid for the students studying ecology, economics of
the nature usage, management, and marketing

**Saint-Petersburg
2005**

FOREWORD

At the end of the previous century our higher education school, as well as some other institutions, did not experience the best times. Every institution of higher education faced the problem of surviving. And every institution solved this problem in its own manner as did the Russian State Hydrometeorological University (RSHMU).

The university began educating specialists in the fields that were a bit far from the traditional ones for the RSHMU. We started preparing specialists in the fields of ecology and natural resource management, marketing, management, public relation, and information security. It was not only desirable, it was also necessary for survival. Specialists in these areas are required for almost all branches of the economy.

The specialists in these new fields are needed to support hydrometeorological activities. However the education and training programs for them could be designed in a better way. At RSHMU these students study for the same period as those studying the traditional specialities. During this period they are supposed to learn all subjects concerning economics: macroeconomics, microeconomics, marketing etc., and in addition they must learn meteorology, hydrology, and oceanography. Though they are expected to work in these fields, the shortage of time does not allow them to get proper knowledge of these disciplines. As a result, the graduates in "fashionable" specialities are badly educated in the traditional subjects including meteorology. That is not their fault, but it does cause them problems. Their salary will depend on the quality of the service they can provide they came working in. Imagine a public relation specialist (graduated from the RSHMU) who obtained a job in a meteorological organization. He/she must know very well what this organization is doing if he/she is to inform people in the best manner about the potential of the organization and its products (for instance weather forecasts). If he/she can do it well, that person will be a valuable specialist. In the opposite case he/she will not be needed by the organization.

Being a bit familiar with this "kitchen" within which meteorologists work, we have decided to write a training aid under the title "**Basics of Meteorology**" where important processes taking place in the atmosphere would be described in a simplified way. To take account of the scientific/mathematic background of students studying the humanities, the amount of formulas, mathematical calculations and deductions has been kept to a minimum. Thus, this training aid is an ABC book that will allow students to learn the basics of meteorology.

In the book the basic aspects of the physics of the atmosphere, dynamic and synoptic meteorology, climatology, and some other branches of meteorology are described. Where and when it seemed appropriate, economic problems related to various meteorological phenomena are also discussed.

This book is intended for the students who are not studying meteorology as a basic subject. It will also be useful for the students at hydrometeorological colleges and pilot schools, i.e. for those who need fundamental knowledge of meteorology without the serious mathematics that is required for "big meteorology".

INTRODUCTION

We live on the Earth that is one of the planets of the solar system. We know that the Earth has an atmosphere or air envelope, hydrosphere or water envelope, lithosphere or solid envelope, and biosphere or simply life. Life exists in all these three envelopes. The processes going on in all these envelopes are interrelated and they are not separated from each other. However the science devoted to the Earth developed in such a way that each of the envelopes was studied separately by different specialists. The lithosphere belongs to geologists and geophysicists, the hydrosphere is the field of hydrologists and oceanographers, the biosphere is the subject of biologists, and the atmosphere is the field of meteorologists.

Meteorology is the science of physical processes and phenomena in the atmosphere and their interaction with the Earth's surface (water and land). The word "meteorology" came to us from the Greeks. It consists of two words: "meteor" that means any phenomenon in the sky, and "logos" that means science.

The planet Earth was not always as we know it now. About 4,5 billions years ago a huge rock 13000 km in diameter had been freely flying in the Universe. Eventually it fell into the gravitation field of the "yellow pygmy" (the Sun) and became a member of the solar system. Now we call it the *Earth*. First the Earth was a big, cold stone. After a while, inside of this stone, pressure started gradually increasing and resulted in tremendous temperature rise. Some rocks inside of the planet melted and volcanic activity commenced.

Erupting volcanoes vented from the inner part of the Earth large volumes of water vapor and other gases since the erupted products contained 7% of water (in gaseous form) and 1% of other various gases, the oxygen being in bonded states only. Ever since the Earth has been

in existence, volcanoes venting huge masses of various substances have created the Earth's crust.

About 3 billions years were needed for the water envelope and the atmosphere to appear on the Earth. The water filling in the low places formed seas and oceans where a bit later life came into being.

Now, let us turn to the atmosphere. The word "atmosphere" consists of two words: "atmos" that means "vapor" and "sphere" (in English also "sphere"). Aristotle had been known to use this word. M. V. Lomonosov was the first to introduce it into Russian scientific lexicon.

All biological processes on the Earth are associated with the atmosphere. Breathing by human beings and animals causes blood oxidation by the air. When we start a fire to cook our food or to protect ourselves against cold, we use the oxygen. Also when we speak, we produce sound waves in the ocean of air. Living on the bottom of this ocean, we breathe and exist as the fish do in the water.

Experience poses various problems for the world of science. Scientists try to solve these problems by identifying the laws and regularities of the relevant processes, and then controlling them in the future. In this context meteorology deals with a similar problem, namely, to learn the essence of the atmospheric processes with the ultimate aim to know how to control them. All that we know about the atmosphere at present is used to support various practical activities, the most important of them being weather forecasting. As to the weather control problem, we are only just at a starting point of its solution.

Meteorology studies many different kinds of atmospheric phenomena. It is natural that meteorologists cannot avoid using many other scientific achievements and knowledge. Studying meteorology cannot be done without knowledge of mathematics, physics, chemistry, astronomy, hydrodynamics, geography and so on.

Meteorology belongs to the family of geophysical sciences such as hydrology, oceanography and soil science. Processes going on in the atmosphere are related to those in the Earth's crust, soil, and water envelope.

As early as in 19th century, there was a tendency to split meteorology into several separate disciplines. At present, meteorology is classified in the following way.

Physics of the atmosphere (Physical meteorology) studies physical processes and phenomena observed in the atmosphere. The main concern of this discipline is the structure of the atmospheric phenomena and establishing relations between various meteorological parameters and those phenomena.

Meteorological instruments and method of measurement creates instruments and develops measuring techniques that must meet the requirement of the world standard for correct measuring the parameters needed for meteorological activity.

Aerology is the science on the upper levels of the atmosphere. It also includes methods to obtain information about the free atmosphere. Meteorologists engaged in this activity make measurements and then analyze the data with the aim of learning about the processes at various altitudes. They measure wind velocity, atmospheric pressure, air temperature and humidity up to a height of 40 km. Such measurements are made around the world every day with the aid of radio soundings.

Dynamic meteorology studies regularities of the atmospheric flows and related energy transformations by solving the hydrodynamic and thermodynamic equations. The main concern of dynamic meteorology is the hydrodynamic simulation of atmospheric processes to produce *numerical weather prediction*.

Satellite meteorology is a branch of meteorology which develops methods to study the atmosphere as it is seen from outer space. For the more than forty years meteorologists accumulated a vast amount of valuable data and used this to obtain knowledge of the atmosphere from space.

Radar meteorology is the discipline to study the atmosphere with the aid of special radar stations. These stations can detect some phenomena such as thunderstorm, precipitation zone, squall lines and atmospheric fronts.

Climatology is the science that studies climates and investigates their phenomena and causes in various geographical regions. *Climate* is the synthesis of the day-to-day values of meteorological elements typical for a given regional weather regime. The climate is influenced by the solar radiation influx, the properties of the underlying surface, and the atmospheric circulation. At present, the theory of climate, dynamic climatology, and climate transformation (transitivity of climate) is receiving more and more attention from the scientific community.

Synoptic meteorology is the science of weather and weather forecasting. The word "synoptic" came to us from the old Greeks. It means "affording of a broad view". Synoptic method implies that the observed data are plotted on a geographical map; such a map is called a *synoptic (weather) map*. These maps allow forecasters to study (even to see) the development of the large-scale processes and, on this basis, to predict the weather. This method can be used for both short-range and long-range predictions.

Applied meteorology serves the needs of various branches of human activity. Its task is to supply these branches with the information required to diminish losses from unfavorable weather conditions.

Further division of meteorology is feasible. Some of them have been long established: *agrometeorology*, *aeronautical meteorology*, *biometeorology* and *military meteorology*. However, some are in their infancy such as *economic meteorology*, *sport meteorology* and *meteorology for businessmen*.

1. COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE ATMOSPHERE

In this chapter we consider the composition of the atmosphere and the characteristics of the various layers of the atmosphere, with emphasis on the vertical temperature distribution.

Composition of the atmosphere

The air is a mixture of many gases. Three of them are considered to be the main constituents of the air: nitrogen (N_2), oxygen (O_2), and argon (Ar). The content of them is believed to be almost constant. There are some variable constituents of the air: carbon dioxide (CO_2), water vapor (H_2O), and ozone (O_3) are the most important. Besides, "traces" of neon, helium, methane, hydrogen, and some others can be found in the atmosphere but their quantity is very small.

If water vapor and carbon dioxide are not taken into account, the main constituents will occupy 99,97% of the whole atmospheric volume (nitrogen — 78,09%, oxygen — 20,95%, and argon — 0,93%). The fraction of the smaller constituents is just 0,03%. On one hand this is a very small amount, however, on the other hand it is enough to influence some processes taking place in the atmosphere. This composition of the air remains practically constant up to a height of 25–30 km.

The amount of carbon dioxide amount in the atmosphere is not constant — it fluctuates depending on the processes of burning and breathing, and on the vegetation cover in the region. The carbon dioxide content in the megalopolises can reach 0,04%, and in the country 0,002%. At nighttime carbon dioxide content in the atmosphere is larger than at daytime since at night plants do not assimilate carbon dioxide.

Water vapor is present in the atmosphere in larger quantities than carbon dioxide. Its amount fluctuates appreciably in the range from 0,2 to 4,0%.

Ozone in the atmosphere is present in a very small quantity, namely 10⁻⁶% of the general volume of the atmosphere. However, even this neg-

ligible quantity plays very important role as it protects life on Earth. Without ozone life would be quite different or could disappear completely.

Variable constituents are significant because they absorb both solar and terrestrial radiation (carbon dioxide and water vapor absorb infrared radiation emitted by the Earth's surface and the atmosphere, and ozone absorbs ultraviolet radiation arriving at the top of the atmosphere from the Sun). Consequently they influence the thermal regime of the atmosphere.

The air, which does not contain water vapor, is called *dry air*, and that containing the water vapor is called *moist air*.

As a result of some natural processes and human activities some gaseous, liquid and solid admixtures are introduced into the atmosphere. The liquid and solid admixtures have the names *liquid* and *solid aerosols* respectively. Some of the air molecules are ionized.

Half of the mass of the atmosphere is found in the lower 5 km layer, 75% of its mass is found in the layer 0 – 10 km, 90% in the layer 0 – 16 km, and the layer 0 – 20 km contains 99% of the whole mass of the atmosphere. There is no sharp boundary at the top of the atmosphere; it grades into interplanetary space. However, there is some evidence that traces of air (some molecules) can be detected at altitudes of up to 2000 km.

The vertical extent of the atmosphere is small compared with its horizontal extent. This results in the vertical scales of the phenomena observed in the atmosphere being much smaller than the horizontal ones. Various meteorological structures have horizontal sizes of hundreds or even thousands kilometers, and the vertical ones of only a few kilometers. With respect to its physical properties, the atmosphere is not homogeneous in either the vertical or horizontal directions. In the horizontal direction the atmosphere is divided into different air masses. The property of every air mass depends upon the region in which the air mass was formed. In the vertical direction the atmosphere is divided into five main layers called *spheres*.

Air masses will be discussed in a following chapter.

Structure of the atmosphere

Now consider the atmospheric layers. The main characteristic of every layer is the vertical temperature distribution within that layer.

The lowest layer of the atmosphere is named the *troposphere*. This layer spreads up to 10 – 12 km in the middle latitudes, up to 8 – 10 km in Polar Regions, and up to 16 – 18 km in the tropics. The troposphere is influenced by the underlying surface more than all the other

layers. In the troposphere air temperature decreases with height. The reason for this is that the troposphere receives the heat mainly from the underlying (ground) surface. This surface is warmed due to solar radiation absorption. Therefore it is obvious that the higher the air, the lower its temperature.

It should be noted that the temperature variation with height varies from place to place and from time to time. We can say the same about the horizontal temperature variation. It means that the temperature distribution in space and time is not homogeneous. In turn this non-homogeneity results in somewhat complicated distribution of the mass and pressure. Due to the non-homogeneous distribution of the temperature and pressure, the atmosphere is found to be in constant motion in both the horizontal and vertical directions. Ascending motion results in the air cooling, water vapor condensing and clouds forming. The roughness of the underlying surface influences horizontal motion in such a way that small eddies appear in the flow facilitating the mixing of the air masses.

The troposphere contains about 80% of the whole mass of the atmosphere. The lowest layers of the troposphere are significantly polluted with the solid aerosols (dust).

The layer of the troposphere within 50 – 250 m of the ground is known as the *surface layer*, and the layer up to 1000 – 2000 m is known as the *boundary layer*. Sometimes the boundary layer is called the *lower troposphere*, the layer from 2000 to 6000 – 7000 m is called the *middle troposphere*, and the rest is called the *upper troposphere*. In the troposphere the air masses and the boundaries between them (i.e. the fronts) form, and cyclones and anticyclones develop and decay. Sometimes they spread up beyond the troposphere to the next layer called the *stratosphere*. The transition layer between the troposphere and stratosphere is called the *tropopause*.

The thickness of the tropopause fluctuates from a few hundreds meters to a few kilometers. Within this transition layer the vertical temperature decrease becomes smaller compared with that in the troposphere. In many cases the temperature may not vary with height (isothermal condition), or even can rise (inversion). Under the tropopause a zone of very strong winds can be observed. These are the *jet streams*. Due to the concentration of aerosols under the tropopause there is often poor horizontal visibility. This occurs because the small temperature variation with height (i.e. isothermal and inversion conditions) is a barrier for the vertical movement of various kinds of particles both natural and artificial in origin.

It is interesting

— It is quite natural that the position (height) of the tropopause is of specific interest for aviation. When being informed about meteorological conditions, pilots often exhibit some interest in the tropopause. Such a "quivering" respect to this transition layer is most likely explained not by necessity but rather a tribute to the fashion and respect of the old traditions. The reason is that when the jet planes appeared in 1950s, the pilots were paid for flying in the stratosphere. The payment was rather appreciable — one rouble for a minute flying in the stratosphere. Taking into account that a pilot's salary those times was not more than 300 roubles and the plane can be in the stratosphere four or more hours, a pilot's interest in the tropopause becomes understandable. Suppose the flying altitude is 11000 m and the tropopause height is 10900 m. In this case four hours of flying at this altitude brought to the pilot 240 roubles in addition to his salary. If the height of the tropopause was 11500 m, he received no extra money to his salary. This was the reason why the pilots "fell in love" with the tropopause.

— And there is one more interesting observation. If you are traveling in a plane, and the flight is taking place near the tropopause, then you can see the tropopause with your own eyes. Under the tropopause the sky is whitish and even almost gray. Above the tropopause it is transparent, dark blue or almost violet. The boundary between "gray and blue sky" is seen very well. That is the tropopause. Knowing this phenomenon, you can amaze your fellow travelers by showing them the tropopause.

The *stratosphere* is the layer of the atmosphere from the top of the tropopause up to 40 — 45 km. In this layer the air temperature (being about -55°C to -60°C at the top of the tropopause) remains practically constant up to altitudes of 25 — 30 km. Above this level it starts rising to reach the value about 0°C at the top of the stratosphere. The stratosphere is known to contain most of the ozone with maximum ozone concentration at a height of 22 — 25 km. The upper boundary of the ozone layer is found at an altitude of about 50 km.

It is the ozone layer that determines the temperature distribution and fluctuations in the stratosphere.

Not long ago it was believed that the stratosphere is a rather calm layer of the atmosphere as this layer is stable due to the temperature distribution being an inversion. In this case there would be no ascending motion, no clouds, no strong winds and no turbulence. Now we know that it is not quite so. Stratospheric jet streams, sharp temperature variations, strong turbulence, and even "mother-of-pearl clouds" at the altitude 25 — 30 km can be observed.

The layer above the stratosphere is called the *mesosphere*. Between the stratosphere and mesosphere there is a transition layer known as the *stratopause*. Its top is found at an altitude of about 50 km, where the air temperature reaches its maximum.

The mesosphere is situated at altitudes between 50 and 80 km. In the mesosphere the air temperature decreases with height (here ozone is absent) to reach its minimum value which can be as low as between -80° and -90°C at the top of the mesosphere. Near the upper boundary of this layer some thin "luminescent" clouds can sometimes be seen. The reason for these clouds forming is so far unknown.

It is interesting

—The mesosphere is the "difficult" layer in the sense of studying the atmosphere. The troposphere and stratosphere are studied using the data from radio soundings of the atmosphere. This allows us to measure wind, temperature, pressure and humidity. At altitudes of 200–300 km the atmosphere can be studied with the aid of satellites and rocket soundings. As to the layer 50–80 km, there is not any appropriate equipment for making measurement in this layer. Russian and foreign specialists make all possible efforts to cope with this "freakish" layer.

Above the mesosphere is the *thermosphere*. Between the mesosphere and thermosphere there is a transition layer called the *mesopause*. The air temperature in the mesopause attains its minimum value.

The thermosphere is a layer of significant vertical extent. It spreads up from 80 to 450–500 km. Within this layer the air temperature continuously increases with height. This can be explained by the absorption of the short wavelength part of the solar radiation accompanied by decomposition of the nitrogen and oxygen molecules into atoms. Due to this decay of molecules into atoms, the composition of the air in the thermosphere is different from that in the lower layers. An important feature of the thermosphere is the existence of a large quantity of electrically charged particles called ions. That is why this layer is also called the *ionosphere*.

Above an altitude of 450–500 km the highest layer of the atmosphere is found. It is called the *exosphere*. The transition layer between the thermosphere and exosphere is named the *thermopause*. The air density in the exosphere is very small. Therefore, atoms of gases move very fast. Their large speeds allow them to overcome gravity and easily leave the atmosphere by flying off into the interplanetary space.

It is interesting

– High electric conductivity of the ionosphere makes a big impact on the spreading of radio waves. The conductivity, in turn, depends upon the state of the ionosphere, time of the day and the year, and the solar activity. The aurora and magnetic storms that we observe on the Earth owes their origin to the ionosphere and higher solar activity.

2. METEOROLOGICAL PARAMETERS, THEIR UNITS, AND INSTRUMENTS

In this chapter we consider the meteorological parameters used by meteorologists in practical activities and their unit of measurement.

Atmospheric pressure

The pressure, at each level, is given by the weight of all the air above it, per unit area of surface. At sea level the atmospheric pressure is close to the pressure that is produced by a 760 mm column of mercury. It means that the atmospheric pressure equivalent to the pressure of a 760 mm mercury column at temperature 0°C is equal to the force exerted by a mass of $76 \times 13,596$ g on an area of 1 cm^2 ($13,596 \text{ g/cm}^3$ is the specific weight of mercury).

On average the mass of the air column with an area of 1 cm^2 is 1033,3 g. According to Newton's law a force is the product of mass and acceleration. Therefore, taking the acceleration due to gravity as $980,665 \text{ cm/s}^2$, in the CGS (centimeter – gram – second) system the pressure value will be

$$1033,3 \times 980,665 = 1013250 \text{ dyne/cm}^2 = 1013,25 \text{ mbar.}$$

We know that 1 dyne is the force which gives a mass of 1 g an acceleration of 1 cm/s^2 . The dimension of force in the CGS system is $\text{g} \cdot \text{cm/s}^2$. In the SI system a pressure of 1013,25 mbar is equivalent to 101325 Pa or 1013,25 hPa. Also the unit of force is the Newton (N) defined as the force which gives a mass of 1 kg an acceleration of 1 m/s^2 . Thus, the dimension of force in the SI system is $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$. From the aforesaid it appears that the units of pressure measurement can be presented in the following ways.

$$1 \text{ bar} = 1000000 \text{ dyne/cm}^2 = 100000 \text{ Pa.}$$

$$1 \text{ mbar} = 0,001 \text{ bar} = 1000 \text{ dyne/cm}^2 = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa.}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 0,01 \text{ mbar.}$$

$$1 \text{ mm mer.} = 1333,3 \text{ dyne/cm}^2 = 4/3 \text{ mbar} = 4/3 \text{ hPa.}$$

$$1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar} = 0,75 \text{ mm mer.}$$

At present, in meteorological practice, the commonly adopted

pressure units are hectoPascal (hPa) and millimeter of mercury (mm mer.). Besides the units mentioned above there is also the technical atmosphere (at or kg/cm²);

1 at = 98066,5 N/m², and physical atmosphere (atm)

1 atm = 101325 N/m² (760 mm mer.).

It is interesting

— As the altitude increases over any point of the Earth, the atmospheric pressure always increases, and by no means can it be vice versa.

— The atmosphere presses on every man with a force of 15 tons. We do not notice this load because there is the same pressure inside us. If, for some reason, the outer pressure suddenly falls sharply (for example, if depressurization of the plane cabin occurs), then the inner pressure balancing with the outer one will attempt to expand our body. That is why military pilots fly in special high altitude compensating suits.

— People standing near a loud gun are recommended to slightly open their mouth when the gun is fired. This diminishes the loading on the ear-drums caused by the loud sound. When the loud sound occurs the sound wave will make an impact on the outer surface of the ear-drum, and through the slightly open mouth on the inner surface of the ear-drum as well.

— Perhaps everyone of us has seen or experienced how to put the so called medical cupping-glasses on the skin. As you may recall, first of all a spirit-lamp is inflamed, and then an overturned cupping-glass is kept for a short time over the flame. Only after doing all this is the cupping-glass put on the skin. The cupping-glass is placed very firmly. Why? When it is kept over the flame, inside the cupping-glass the temperature sharply increases, and the pressure falls. Therefore, the higher outer pressure acts as if it "sticks" the glass to the body. We'll not discuss medical aspects of this matter.

The atmospheric pressure is measured with the aid of mercury barometers or with aneroid barometers. To trace the pressure variation with time, barographs are used.

Air density

The ratio of a mass of air to the volume it occupies is called the *air density*. From general physics we know the equation of state for a gas. For dry air this equation is

$$p = \rho RT = \rho R(t + 273)$$

where p is atmospheric pressure (Pa), ρ is air density (kg/m³), t is air temperature (°C), and $R = 287 \text{ J/kg K}$ (m²/s²K) is the gas constant for dry air. From this equation we may determine the air density as

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{p}{R(273+t)}$$

For example, with $p=1000$ hPa and $t=0^\circ\text{C}$ we get $\rho=1,276$ kg/m³. These results can be used to give an approximate expression for ρ given the values of p and t .

$$\rho = 1,276 \frac{p}{1000} (1 - \alpha t) \quad \text{with} \quad \alpha = 1/273$$

For some practical purposes the notion of relative air density is introduced. The value of this relative density (Δ) is the ratio of the actual density (ρ_a) to the standard air density ($\rho_{o,sl}$)

$$\Delta = \rho_a / \rho_{o,sl}$$

It is interesting

— As stated above, the pressure always decreases with height. Contrary to this fact the air density sometimes increases with increasing height. This may occur if the air temperature sharply decreases with height.

— Once, in the beginning of 20th century, F. I. Shaliapin sang in a splendid restaurant in Italy. The public was delighted with his singing, and, after the concert was over, had bought up everything what was found in the hall where F. I. Shaliapin had sung. One very rich merchant got nothing. He simply let a chance slip (missed his chance). Then, being heavily drunk, he said to the restaurant owner that he was going to buy all the air in the hall. Naturally the owner immediately agreed to sell the air and informed the merchant that the volume of the hall was 5000 m³. The merchant became afraid of such a big volume and said that he would not pay for the cubic meters, but rather for kilograms of the air. The owner agreed with this proposal and, as a result, he got one third more money than he would got for the cubic meters. The merchant was not aware that the cubic meter of the air weighted more than one kilogram.

The air density is never measured. On meteorological stations the observers measure atmospheric pressure and air temperature, and these data are used to calculate the air density from the formula given above.

Geopotential

Geopotential is the potential energy relative to the sea level of a unit mass (specific potential energy) determined by the position of this mass in the gravity field.

$$d\Phi = g dz; \quad \Phi = \int_0^z g dz$$

Geopotential at a point of the atmosphere is numerically equal to the work done in the gravity field to lift a unit of mass from the sea level to the altitude of the given point. Geopotential at the sea level is taken to be equal to 0. Its dimension is m^2/s^2 (that is the dimension of specific work). However this unit is not convenient for practical applications. Dividing equation the equation for Φ by the number 9,8, we get the quantity

$$H = \frac{\Phi}{9,8} = \frac{g}{9,8} \int_0^z dz = z$$

Since $g \approx 9,8$, the quantity H is numerically equal to the height expressed in the usual meters. However its dimension remains as i.e. m^2/s^2 . That is why H is given in *geopotential meters*.

For many purposes meteorologists need to know the spatial position of various kinds of imaginary surfaces. For instance very often they deal with the surface of constant pressure — this is called the *pressure or isobaric surface*. The geopotential at a point on any pressure surface expressed in geopotential meters is the geopotential height of the surface at the given point. As a rule, the heights of the pressure surfaces are expressed in tens of geopotential meters, i.e. geopotential decameters (dam).

Air temperature

Heat is a form of energy. *Temperature* is a measure of heat. The air temperature is the degree of "hotness" or "coldness" of the air as measured with a thermometer found to be in a full contact with environmental air.

To measure the temperature there are different thermometric scales. Every one of them includes two registration points. Commonly adopted registration points are the temperatures of the ice melting and water boiling. At present three thermometric scales are used in meteorological practice.

- Centigrade (Celsius) scale ($^{\circ}\text{C}$), with the registration points 0°C , and 100°C .
- Fahrenheit scale ($^{\circ}\text{F}$), with the registration points 32°F , and 212°F .
- Absolute (Kelvin) scale, K, with the registration points $273,2\text{ K}$, and $373,2\text{ K}$.

To transfer the temperature values between the Celsius and Fahrenheit scales, the following formulas are used.

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32$$

There was one other scale, which was in use in 19th century; that is Reaumur scale ($^{\circ}\text{R}$) with the registration points 0°R , and 80°R .

There is also an International thermometric scale, thermodynamic thermometric scale, and empirical thermometric scale. As well as the Reaumur scale, they are no longer in use in meteorological practice.

It is interesting

— J. London in his stories tells about the very low temperatures (-70° , -80°) in Alaska. Of course, he kept in mind the Fahrenheit scale. In the centigrade scale these temperatures would have a bit higher values but still it was very cold there.

— The reader will be surprised to learn that the German physicist Fahrenheit had little connection with the scale that bears his name. However this is a story we'll not discuss here.

— On the Earth, at any time, one can find two points where the air temperature differs from each other by 100 (hundred!) and even more degrees.

— The highest air temperature (58°C) observed in the world was in Mexico, and the lowest air temperature ($-89,2^{\circ}\text{C}$) was recorded at Vostok (Antarctica).

— In Russia the highest air temperature ($42,3^{\circ}\text{C}$) was recorded in the lower reaches of the Volga, and the lowest one ($-71,8^{\circ}\text{C}$) in Jukutia.

— Once upon a time, after a comparatively warm winter in Jukutia, one journalist wrote that "during the last winter the thermometer thread of mercury did not get down lower than -53°C ". Suppose it was so. However, the journalist made a mistake. He showed his physical and meteorological illiteracy. The reality is that the mercury freezes at a temperature of $-38,9^{\circ}\text{C}$, and naturally the thread of mercury could not go down lower than that point. He did not know that the lower temperatures are measured with alcohol thermometers but not with the mercury ones. This means that when hunting for an "effect word", one should be very careful.

On meteorological stations the air temperatures are measured with many kinds of thermometers. They can be mercury, alcohol, or bimetallic but, in any case, they must be kept in meteorological shelters 2 m above the ground. As to their functions, they can be standard, maximum, minimum and soil thermometers, and there are also some other types of thermometer.

Wind speed and direction

The air motion relative to the ground surface is called the *wind*. The horizontal component of this motion is 100 – 1000 times larger than the vertical one. It is the horizontal component we sense as the wind.

The driving force of the wind is the difference of the atmospheric pressure between two points on a horizontal surface. The value of this difference relative to the distance between the points is known as the *pressure gradient* (some more information about gradients of the meteorological parameters will be given below). Thus the pressure gradient creates the driving force of the air motion (wind). In addition to the driving force, there are so called steering forces: friction force, deviating force of the Earth spinning, and centrifugal force.

The part of the horizon from which the wind blows represents the *wind direction*. It can be presented as an angle in degrees or as cardinal points. In the majority of cases 8 cardinal points are used. They are N, NE, E, SE, S, SW, W, and NW. For some separate cases 4, or 16 points are used.

The wind speed is measured in m/s, km/h, knots, and conditional points. One knot is a mile (1853 m) per hour. Note that 1 knot $\approx$ 0,5 m/s.

To determine the wind speed (strength) in conditional points, a 12 point scale giving the Beaufort force is used. This scale is based on visual estimation of the wind impacts on various articles on the ground and sea state. Information to transfer the wind speed in Beaufort force into m/s is given in table 2.1

Table 2.1.

Transfer the wind speed in Beaufort's points into m/s.

Beaufort force	Wind speed (m/s)	Beaufort force	Wind speed (m/s)
0	0–0,2	7	13,9–17,1
1	0,3–1,5	8	17,2–20,7
2	1,6–3,3	9	20,8–24,4
3	3,4–5,4	10	24,5–28,4
4	5,5–7,9	11	28,5–32,6
5	8,0–10,7	12	>32,6
6	10,8–13,8		

Also there is an empirical formula to transfer the Beaufort force (B) into m/s (U).

$$U = 2B - 1$$

This formula is valid up to $B \leq 8$. To describe the relation between knots (U) and Beaufort force (B) for all values on the Beaufort scale there is another formula.

$$U = 1,87\sqrt{B^3}$$

When making visual ship observation, the following relations are used.

- Calm, $B = 0$.
- Moderate wind, $B = 4$.
- Strong wind, $B = 6$.
- Storm wind, $B = 10$.
- Hurricane, $B = 12$

At present, the wind direction is usually indicated as an angle in degrees, with the wind speed at the surface in m/s or knots, and at upper levels in km/h.

ICAO (International Civil Aviation Organization) recommended that all member countries of ICAO measure wind speed in km/h.

It is interesting

— As we already know, the wind is the motion (displacement) of masses of air. It is worth thinking about how much mass of air is transferred under the action of the pressure gradient force. If the wind speed is just 3 m/s for only 30 seconds, every one of us is "blown on" by the air mass that is equal to the weight of our body. Actually, the height of a man is not less than 1,5 m, and width of shoulders is about 30 cm. It means that the area of the body is about 0,5 m². Hence, for a second, with a wind speed of 3 m/s, the body is blown by the air with volume of 1,5 m³, and for 30 seconds by 45 m³. Taking into account that the mass of one cubic meter of air is equal to 1,276 kg, the total mass of the air passing the body for a half of a minute will be a bit more than 57 kg. That is close to our weight.

On meteorological stations some stationary and movable instruments are used to measure wind speed and direction. Wind vanes measure the direction of the wind, and anemometers measure the wind speed. These instruments are established at a height of 6 – 10 m above the ground. At present, the instruments M-63 and M-64 are used to measure the wind speed and wind direction.

Air humidity

Water vapor content in the atmosphere is called the *air humidity*. It can be described using a number of parameters. The main ones are *absolute humidity*, *humidity deficit*, *relative humidity*, *water vapor partial pressure*, *dew point*, *dew point deficit*, and *mixing ratio*. Let us discuss these parameters.

Absolute humidity (a) is the mass of water vapor (in grams) in one cubic meter of the air (g/m^3). Absolute humidity is related to the water vapor (contained in the air) partial pressure (e) which is measured, like the atmospheric pressure, in hPa or in mm mercury. The formula

$$a = 217 \frac{e}{p} = \frac{0,8e}{1 + \alpha t}$$

gives the relation between absolute humidity values (a) and water vapor partial pressure (e) where e is expressed in hPa. If the water vapor partial pressure is expressed in mm mercury, the relation takes the form

$$a = 289 \frac{e}{T} = \frac{1,06}{1 + \alpha t} \quad \text{with} \quad \alpha = \frac{1}{273}$$

In both formulas T denotes the temperature in Kelvin (K), and t is the temperature using the centigrade scale ($^{\circ}\text{C}$).

Specific humidity is the ratio of water vapor density to the humid air density, or the ratio of the weight of water vapor to the weight of humid air for the same volume of air. Specific humidity (s) is a function of the water vapor partial pressure and the atmospheric pressure.

$$s = \frac{0,623e}{p - 0,377e} \text{ kg/kg}$$

In this formula the e and p values must be expressed in the same units. For practical purposes specific humidity is expressed in g/kg and calculated from the formula

$$s = \frac{623e}{p - 0,377e}$$

Mixing ratio (r) is the ratio of the mass of water vapor mass to the mass of dry air in the same volume. The unit of the mixing ratio is g/kg.

$$r = 623 \frac{e}{p - e}$$

Dew point (T_d or τ) is the temperature at which the air becomes saturated (with respect to water) at constant pressure if the water vapor content in the air remains unchanged. The dew point is always smaller than the air temperature provided that the air is not saturated. If the air is saturated its temperature and dew point temperature are the same.

Relative humidity is the ratio of actual water vapor partial pressure (e) to the saturated water vapor partial pressure (E) at the same

temperature. It can be expressed both in decimal fractions and in percents.

$$R = \frac{e}{E} \quad \text{or} \quad R = \frac{e}{E} 100\%$$

The relative humidity can be also defined as the ratio of actual specific or absolute humidity to the saturated specific or absolute humidity at the same temperature.

Humidity deficit (d) is the difference between saturated and actual water vapor partial pressures at a given temperature and pressure.

$$d = E - e$$

Dew point temperature deficit (D) is the difference between actual and dew point temperatures.

$$D = t - \tau$$

Depending on the task to be solved, the appropriate humidity parameter is chosen for a particular application. Weather forecasting procedures most often include absolute and specific humidity, relative humidity, dew point temperature, and its deficit. The weather forecasting procedures will be discussed below.

It is interesting

—The water vapor (not water!) is known to be lighter than dry air. Therefore, if you are in a hurry to dry up a vessel, for instance a glass jar, you must place it in a position with its open side directed upward. Then the lighter water vapor will be able to freely ascend, and the jar will be dried faster than in any other position.

To measure the humidity, meteorologists use hygrometers, hygrographs, and various types of psychrometers. Most often psychrometers consisting of wet and dry bulb thermometers are used. The associated tables can be used to calculate any of the above mentioned humidity parameters.

Cloudiness

Conglomeration of the water droplets and ice crystals suspended in the air is called *cloud* (or *cloudiness*). The main characteristics of clouds are their amount, form, and heights of their top and bottom. Cloud amount can be determined in points or in oktas. It should be noted that in weather forecasting for aviation, oktas are used.

When cloud amount is determined in points, the sky is divided into 10 parts; one part represents one point. The sky cover can vary

from 0 (clear sky) up to ten points (overcast). When oktas are used the cloud amount varies from 0 (clear sky) to 8 (overcast).

There is a scale to transfer cloud amount in points to those in oktas (see below)

Oktas	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Points	0	1	2-3	4	5	6	7-8	9	10

The heights of the top and bottom of a cloud are measured in meters or kilometers, and, in some countries, in feet. If the height is indicated in meters, its value is usually rounded off to tens of meters (bottom), and hundreds of meters (top).

In general forecasts to indicate cloud amount, the following terms are used.

- Cloudless (clear) sky (0 – 1 point)
- Little cloud sky (2 – 3 points)
- Variable cloudiness (4 – 7 points)
- Above average cloudiness (8 – 9 points)
- Overcast (10 points).

It is interesting

— Sometimes it is difficult to imagine the appalling weather civil aircrafts have to fly through. Nevertheless on large aerodromes aircraft can make landings when the cloud base is only about 30 meters. Now, imagine a 14-story building facing you. The height of every story is about 3 meters. You see that the airplane can make a safe landing even when the 11th floor is found in the cloud.

On meteorological stations observers determine cloud amount and cloud type without any equipment, just visual observations are made. The height of the cloud base is measured with the aid of a cloud height meter (CHM), or laser cloud height meter (LCHM), or with the aid of cloud height register (CHR-2). All these instruments determine the time a light beam takes to travels from the cloud searchlight to the cloud base and back. On the basis of this time the cloud height is calculated and indicated on the scale calibrated with cloud height units.

Visibility

Visibility (meteorological visibility range) is the largest distance from which one can distinguish a black object with the angle size more than 15' against the sky background near the horizon. At nighttime visibility is the distance from which at existing transparency of the atmosphere the same object can be distinguished at daytime.

Depending of its values, the visibility range is measured in meters with rounding off to tens or hundreds of meters, or in kilometers. Visual estimation of the visibility range can be made in conditional points. The visibility range in terms of point is as follows.

Points	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Visibility (km)	<0,05	0,05-- 0,2	0,2-- 0,5	0,5-- 1,0	1,0-- 2,0	2,0-- 4,0	4,0-- 10,0	10,0-- 20,0	20,0-- 50,0	>50,0

At present determination of the visibility range in points is rather rare. More interesting are the visibility ranges as they appear by the visual estimation of the intensities of various meteorological phenomena. Corresponding data are shown in the table 2.2.

Table 2.2.

Visibility range values (m) associated with weather phenomena of different intensity.

Weather phenomena	Intensity of the phenomena		
	Strong	Moderate	Weak
Pouring rain	500-1000	2000-4000	4000-10000
Heavy snow	100-500	500-1000	1000-4000
Blizzard	<50	50-500	500-1000
Drizzle	1000-2000	2000-4000	4000-10000
Snowstorm	<1000	1000-2000	2000-4000
Snow, tapioca snow	500-2000	2000-4000	4000-10000
Haze	1000-2000	2000-4000	4000-10000
Dry haze	<1000	1000-2000	2000-6000
Blowing snow	1000-2000	2000-4000	4000-10000
Duststorm	<1000	1000-2000	2000-4000
Fog	50-200	200-500	500-1000

Data in table 2.2 may be of value when users of meteorological information are being informed about the current and expected weather.

It is interesting

—According to existing rules, when the visibility range is determined visually, consumers are informed on the visibility range value up to the most remote object (land mark). In the North East of Russia there are meteorological stations, where due to specific geographical features the amount of landmarks is very small. As a result, sometimes strange, and even conflicting, situations may arise. For instance, there is one aerodrome situated in the northern part of the Far East, where flights are allowed, if the visibility range is not less than 3 km. However visibility landmarks are practically absent around it. There is a dwelling

house 2 km from the meteorological station and a hill at 20 km. So then, when it starts snowing, the hill becomes invisible. In this case the observer must determine the visibility range as being equal to 2 km (up to the most remote mark) although the real visibility range can be 10 km or even more. Nevertheless, at the official value of the visibility range equal to 2 km the flights are forbidden. Thus a conflict often arises between the meteorological service and civil aviation personnel. Fortunately at present instrumental determination of the visibility range has brought an end to these conflicts.

In addition to the visual determination of the visibility range with the aid of artificial and natural landmarks, on meteorological stations various visibility meters are in use. Most often Visibility Range Registers (VRR) or the FI-2 instruments are used. They operate in the following way. The instrument generates the light, which splits into two beams. One of them is closed in the instrument optical system and memorized there. The second beam travels a distance (usually 100 m), and after reflection from the mirror established at this distance, it comes back into the instrument after being attenuated by the air turbidity. Comparing intensities of the beams allows the atmospheric transparency to be determined and hence the visibility ranges.

Precipitation

Water drops and ice crystals falling from the atmosphere is called *precipitation*. Two criteria characterize precipitation: type and intensity. The main types of precipitation include *rain, snow, dew, drizzle, hail* and *sleet*. The type of precipitation is determined visually. The amount of precipitation is understood as the thickness of liquid water layer that could be formed after precipitation falls on a horizontal surface ($1 \text{ mm} = 1 \text{ kg/m}^2$). The amount of precipitation falling out per a unit of time is called the *precipitation intensity*.

Sometimes the amount of precipitation is measured not for a unit of time but for the passage of an atmospheric object (such as a thunderstorm cloud or front).

In addition to the quantitative estimation of the precipitation intensity it is possible to make visual estimation of the intensity. This estimation can be done from the visibility deterioration in the phenomenon (see the table 2.2).

It is interesting

– Suppose fallout of precipitation is 15 mm. Is it large or small? After some calculation 15 mm appears to be equivalent to about 15 liters of

water on every square meter. Now everyone can answer this question in the sense that this quantity of water for a single rain event is rather large.

- The most "wet" region in the world is found in India on the southern slopes of the Himalayas. Here the annual precipitation comprises 14000 mm. That is very much!

- According to Berg's classification a shower is a rain with intensity i $0,38 \text{ mm/min}$, and with duration not less than 10 minutes.

- Snowfall of not less than 7 mm per 12 hours intensity is a dangerous phenomenon for auto-vehicle transport.

To measure the precipitation amount, the instruments known as rain gauges are used. First precipitation fallout is accumulated in a special vessel. If it is snow, after accumulation it should be melted. Then, whatever it is rainwater or melted snow, the liquid water is poured into a measuring glass to determine the precipitation amount.

To determine the height of snow cover, a special measuring snow dipstick is used.

Aircraft icing and glaze

Ice deposition on the outer surface of an air vessel is called *icing*. A quantitative characteristic of this phenomenon is *icing intensity*. The icing intensity is the ice mass deposited in the course of flight on a unit of surface in unit of time. According to this definition the unit of the icing intensity is mm/min . Usually the icing intensity is denoted by the letter " I ".

Icing is considered to be weak if $I < 0,5 \text{ mm/min}$, moderate if $0,5 < I < 1,0 \text{ mm/min}$, and strong if $I > 1,0 \text{ mm/min}$.

Glaze is ice deposition on articles and the Earth's surface caused by supercooled water drops precipitating and freezing after collision with surfaces at negative temperatures. The thickness of the deposited ice determines glaze intensity. The glaze is considered to be weak if the ice layer is smaller than 5 mm , moderate if the layer is $5 - 20 \text{ mm}$, strong if the layer is $20 - 50 \text{ mm}$, and very strong if the layer is more than 50 mm . According to the adopted classification, a glaze of more than 20 mm of ice is considered to be a dangerous phenomenon.

It is interesting

— Some cases are known when after landing 13 cm thick layer of ice has been found on an aircraft surface. Let us imagine that it happened with aircraft TU-154. The area of these aircraft wings is 200 m^2 , and its total area is 500 m^2 . If this is so, the aircraft would "bring" 65 m^3 or 50 tons of ice. Fortunately it is impossible because the icing may occur only over frontal parts of the aircraft and it is equipped with an anti-icing system.

On meteorological stations a so-called glaze bench is used to measure the glaze. It consists of wires stretched between columns in two directions perpendicular to each other. Ice deposition is measured either as ice thickness on the wires, or as the water volume received after melting.

Units of work, energy, and heat

In the CGS (centimeter-gram-second) system the unit of *energy* and *heat* is 1 erg. An erg is the work done by the force of 1 dyne moving a mass of 1 gram a distance of 1 cm. The dimension of work and energy in this system is gcm^2/s^2 .

In the international SI and MKS systems the unit of work is the Joule. Its dimension is $\text{kg}^4\text{m}^2/\text{s}^2$. Hence $1 \text{ J} = 10^7 \text{ ergs}$.

In the technical unit MKFS (meter-kilogram-force-second) system the unit of work is 1 kilogram-meter (1 kgm) that is $1 \text{ kgm} = 9,81 \text{ J}$.

An important practical unit of work is Watt-hour (W.h.): $1 \text{ W.h.} = 3600 \text{ J}$.

Since the heat is a form of energy, the units of heat and energy is the same: i.e. in the CGS system it is 1 erg, in the SI system it is 1 J.

In practice a unit called a *calorie* is used though it is not included in any standard system. One calorie is equal to the amount of heat needed to warm 1 gram of water by 1°C within the temperature interval from $19,5^\circ\text{C}$ to $20,5^\circ\text{C}$ ($1 \text{ calorie} = 4,1868 \text{ J}$).

Units of heat (energy) flux and influx

In meteorology we often use the notions of heat (energy) *flux* and *influx*. The amount of heat (energy) passing through a unit of area in a unit of time is called the *heat (energy) flux*. Its unit is $\text{J}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ or W/m^2 .

The difference between the incoming and outgoing heat (energy) flux for a body is called the *heat (energy) influx*. Usually heat (energy) influx is calculated with respect to a unit of mass. Therefore its dimension is $\text{J}/(\text{s}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg})$ or $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{kg})$.

Unit of power

As is known from general physics, *power* is the work done in unit time. Therefore its unit in the CGS system is *erg per a second* ($\text{g}^4\text{cm}^2/\text{s}^2$). In the SI or MKS system the unit of power is 1 Watt = 10^7 ergs , and in the MKFS system it is $1 \text{ kg m/s} = 9,81 \text{ W}$.

In practice we often use a unit that is not included in any system, that is *horsepower* (h.p.). The relationship between this unit and more conventions ones $1 \text{ h. p.} = 735,5 \text{ W} = 75 \text{ kg m/s}$.

It is interesting

— A physically strong man can develop a power equal to 1 h.p. when he is running up the stairs at a rate of 5 steps per a second (every step is of 20 cm height) and his weight being 75 kg.

Units of the light parameters

In the SI system the unit of the light intensity is *candle* (cd). One candle is the intensity of the light emitted from the area of $1/600000$ m² of the cross-section of the total emitter in the direction perpendicular to the cross-section at the emitter temperature equal to the platinum hardening temperature and the normal atmospheric pressure.

Light flux unit is *lumen* (lm). 1 lm is the light flux emitted by a dot source of light of 1 cd intensity within the solid angle of 1 steradian. The unit of *light energy* is *lumen per second* (lm/s). *Luminosity* unit is *lumen per squared meter* (lm/m²).

Intensity of illumination is measured in *lux* (lx). 1 lx is the illumination intensity of the sphere with the radius 1 m created by a dot source of light found at the center of the sphere, the intensity of the light being 1 cd.

Amount of lighting is determined in luxes per a second (lx/s), and brightness of the light in candles per one meter squared (cd/m²)

Units of sound pressure level

Level of sound pressure (L) is measured in *bel* (b) or *decibels* (db). The value of this level is determine from the formula

$$L = 2k \lg \frac{P_{\text{eff}}}{P_0^*}$$

where k is proportionality coefficient: $k = 1$ if L value is determined in bels, and $k = 10$ if L value is determined in decibels; P_{eff} represents the effective pressure of the sound wave, and $P_0^* = 2 \times 10^{-5} \text{ n/m}^2$ is the conditional threshold of the sound pressure. This parameter is also called the *standard threshold of audibility*. Usually it is determined for the frequency 1000 Hertz.

Affixes for denotation of the multiple units

In practice we often use not only the main units but also so-called derived units. They differ from the main ones by several orders of magnitude. Every one of the derived units has its name, but we do not always know these names sufficiently well. For instance, everybody knows what is a centimeter or kilogram. However, not everyone can

immediately answer the question: what is picofarad or gigocalorie? To be able to answer such kind of questions without difficulties, one can use the affixes cited in the table 2.3.

Table 2.3.

Affixes for denotation of the multiple units

Names of the affixes	Coefficient	Abbreviated notation
Pico	10^{-12}	p
Nano	10^{-9}	n
Micro	10^{-6}	μ
Milli	10^{-3}	m
Centi	10^{-2}	c
Deci	10^{-1}	d
Deca	10	da
Hecto	10^2	H
Kilo	10^3	K
Mega	10^6	M
Giga	10^9	G
Tera	10^{12}	T

The values of the multiple units are not necessarily to be learnt by heart. However, you should always keep such a table handy and know how to use it.

It is interesting

—Try to calculate how much water can be warmed from 0°C to 100°C if you have at your disposal 1 gigocalorie of heat? (If you didn't make any mistakes, the answer is 10 m^3).

Non-standard units

Sometimes, reading old books (and not so old) of Russian or foreign authors, you may find unfamiliar units of various quantities. We have made an attempt to collect all these non-standard units of Russian and foreign origin. Here they are.

Measures of length

1 verst	= 1060 m.
1 sazhen	= 2,13 m.
1 slanting sazhen	= distance from the leg heel to the finger end of the other side hand risen up.
1 arshin	= 0,71 m.
1 ell	= 0,50 m.

1 span	= 20 cm.
1 vershok	= 4,4 cm.
1 point	= 0,2 cm.
1 geographical mile	= 7420 m.
1 statute mile	= 1609 m.
1 nautical mile	= 1852,2 m.
1 cable (cable's length)	= 185,2 m.
1 lieue	= 4,5 km.
1 yard	= 91,44 cm.
1 foot	= 30,48 cm.
1 inch	= 2,54 cm.

Measures of area

1 are	= 100 m ²	
1 hectare	= 100 are	= 1000 m ²
1 hundredth part	= 100 m ²	
1 desyatina	= 2400 squared sazhen	= 1,09 he.
1 acre	= 4047 m ²	

Measures of volume of liquid and friable substances

1 pail	= 12 liters (l)	= 1/40 of barrel.
1 quarter	= 3 l.	
1 bushel (USA)	= 35,24 l.	
1 quart (USA)	= 1,101 l.	
1 pint (USA)	= 0,5508 l.	
1 British pint	= 0,5682 l.	
1 gallon (USA)	= 3,785 l.	
1 barrel (USA)	= 119,24 l.	
1 oil barrel	= 158,76 l.	

Measures of weight

1 pud	= 16,38 kg.	
1 ounce	= 28,35 g.	
1 pound	= 373,27 g.	
1 zolotnik	= 1/96 of pound	= 4,26 g.
1 granum	= 64,8 mg.	
1 drachma	= 1,772 g.	
1 karat	= 0,2 g.	

Astronomy

1 light year (distance a light beam travels in one calendar year) = 9460 billions of kilometers.

1 parsec = 3,26 light years = 30840 billions kilometers.

Here we have not cited all existing non-standard units. However, as readers are now familiar with the most frequently used non-standard units, the rest of them can be found in guidebooks on mathematics or physics and in encyclopedias.

3. TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE ATMOSPHERE

In this chapter we consider the factors which affect the air temperature and the way the temperature varies. We also consider some derived temperatures which are used in weather forecasting.

Air temperature

The air temperature in the atmosphere varies widely both in the horizontal and vertical directions. Air temperature distribution over the surface of the Earth depends upon the solar radiation influx to the upper boundary of the atmosphere and to the ground surface, the absorption of the solar radiation by the land and sea surfaces, and the emitting capability of the various surfaces. An important role belongs to the general circulation of the atmosphere that causes displacement of the air masses.

The Earth's atmosphere absorbs just a small part of the solar radiation passing through it. The solar rays warm the air very little. It is the underlying surface (land and oceans) that is responsible for the air warming and cooling. The underlying surface can be both a heater and a cooler. During the daytime the incoming solar radiation warms the surface, while at nighttime the surface cools the air because its temperature down due to loss of terrestrial radiation. In winter the nights are long, the days are short, and the Sun altitude is low. As a result, the underlying surface is colder than the air (at least over land) since during the short days it cannot be warmed enough by the low Sun. The opposite situation occurs in summer. The summer nights are short, the days are long, and the Sun altitude is high. Therefore, the underlying surface is well heated and becomes a sort of "stove" for the air.

There are several mechanisms to transport the heat from the ground surface to the atmosphere.

- *Molecular exchange.* The molecular conductivity of the air is very small. Due to this reason the molecular mechanism can only change the temperature in the very thin layer (a few cm) adjacent to the surface.
- *Radiation.* Long wavelength terrestrial radiation can be absorbed by the air. That is a constant process but it does not play an im-

portant role. The radiation balance of the surface and the adjacent layer of the atmosphere is positive during daytime (the energy incoming exceeds that outflowing) and negative at night time (the energy outflowing exceeds that incoming).

- *Convection*. The warm air parcels ascend since they are lighter than the environmental air (recall the smoke of a fire), and the colder air descends since it is heavier than the environmental air. This process is known as *convective mixing*. The result is the upward transfer of heat.
- *Eddy mixing (eddy exchange)*. This mechanism is more important than all those mentioned above. It should be noted that eddy exchange can act both in the vertical and horizontal directions. However it is more intensive in the vertical direction.
- *Water vapor transfer*. A significant role in the heat transfer from the ground surface into the atmosphere belongs to water vapor. A warm underlying surface provides the energy needed to evaporate the liquid water from the surface. To evaporate 1 kg of water, 2500 kJ of energy (heat) must be sacrificed and this amount of energy (heat) is taken from the surface. Then convective and eddy fluxes transport the water vapor into the atmosphere, where, in certain conditions, it condenses and releases the latent heat.

Numerous studies suggest that the main reasons for the heat transport into the atmosphere are convection, turbulence (eddy mixing), and water phase transfer.

Temperature variations

The land is warmed more than the water surface. Therefore in the warm period of year the air over land surfaces is warmer than over lakes and seas. In winter, contrary to the summer, over land the air is colder. As the land surface in various regions is different, the processes of surface heating (cooling) and interaction between the surface and the atmosphere are also different. The lowest, so-called *surface layer* of the atmosphere experiences the most significant influences of the underlying surface. The thickness of this layer varies from 10 to 200 m. Note that the air temperature is measured in meteorological shelters at an altitude of 2 m.

Diurnal temperature variation depends on the underlying surface temperature variation. As soon as the Sun rises, the surface starts warming until equilibrium between the heat influx and outflow is established. The equilibrium usually occurs at about 3 p.m. local time. The maximum air temperature is observed a bit later than that of un-

derlying surface. The heated soil "needs" some time in order to "lift" the heat up to 2 meters where the air temperature is measured.

It might be expected that the minimum air temperature occurs at sunrise. However, in reality the minimum air temperature occurs a bit later than this. Immediately after sunrise some of the radiation from the Sun is absorbed by the surface but the temperature does not start rising until there is sufficient solar radiation to offset the loss of terrestrial radiation. Therefore the warming begins when the Sun reaches a certain altitude, then everything takes its proper place. The time necessary for the air temperature to start rising depends upon latitude, season, and some other conditions.

Cloudiness and wind also affect the diurnal temperature variation. Cloudiness does not allow the Sun to heat properly the underlying surface. Doing so, it smoothes the diurnal variation of the air temperature. Strong wind at the surface intensifies the eddy mixing, and, in so doing, it equalizes the air temperature at all levels. As a result, the amplitude of the diurnal air temperature variation diminishes. This amplitude is largest at the surface and it decreases with height becoming zero at the top of the boundary layer of the atmosphere.

Geographical distribution of the air temperature will be discussed later together with the air mass properties.

The air temperature distribution with height has its own particularities. From the above discussion we may conclude that the air temperature usually decreases with height. On average the rate of this decrease is 6,5°C per kilometer. The average (standard) air temperature at the surface is taken to be 15°C. If we assume the altitude of the top of the troposphere is 11 km, the temperature at the top will be -56,5°C.

In some cases it may happen that within an atmospheric layer the air temperature increases with height. This phenomenon is known as *temperature inversion*, and the layer is called an *inversion layer*. A layer where the air temperature does not vary with height is called an *isothermal layer*.

A parameter characterizing air temperature variation with height bears the name *lapse rate* or sometimes *temperature lapse rate* (γ). It is defined as the ratio of the air temperature difference at two levels to the difference of the height of these levels.

$$\gamma = -\frac{T_2 - T_1}{z_2 - z_1} = -\frac{T_2 - T_1}{\Delta z}$$

where T_1 and T_2 represent the air temperature values at the heights of the lower level z_1 and the higher level z_2 . Usually the lapse rate is calculated in degrees per 100 m or 1 km. The sign "—" in the formula for γ is used to make the lapse rate value positive in the usual atmospheric conditions (temperature decreasing with height). Here we'll restrict our discussions by considering only the troposphere.

Derived temperatures

For specialists in meteorology the term "temperature" has many meanings. It is not the air temperature that is of interest for many people, and it is not dew point temperature we already know about. It is a whole series of other temperatures that are "under the control" of specialists. Below we'll consider various temperatures which are used in weather forecasting procedures.

For a better understanding of the essence of various temperatures let us recall some notions from physics. It is known that energy cannot be destroyed. It can just be transformed from one form to another. If a body (let's say a layer of the atmosphere) receives some energy, the body may use it for increasing or decreasing its volume, for warming, for electrization, etc. The processes taking place under energy income (influx) or out flow are called *diabatic processes*. They are accompanied by variations of the parameters describing the state of the body.

Along with this there are some processes going on without energy influx from outside. They are accompanied by redistribution of already existing energy in the body. These are *adiabatic processes*. The affix "a" means "without", i.e. without influx or outflow of energy.

In our meteorological publications the term *diabatic* is often written in a funny way as "*non-adiabatic*".

Virtual temperature. The notion of virtual temperature is applied to only humid air. The virtual temperature of humid air is the temperature the dry air would have if its pressure and density were the same value as those of the humid air.

$$T_v = T + \Delta T_v$$

$$\Delta T_v = 0,608sT = 0,378T \frac{e}{P}$$

where s is specific humidity, e is water vapor partial pressure, P is atmospheric pressure, and T is the temperature of the humid air. The magnitude ΔT_v is called *virtual addition*. Sometimes it is used for various theoretical purposes.

Potential temperature (Θ). Potential temperature is the temperature the air would take if it were adiabatically brought to the standard pressure level 1000 hPa.

$$\theta = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{0.288}$$

From this formula it follows that in the case of adiabatic descent or ascent the potential temperature of the vertically displacing parcel will remain unchanged. Any variation of potential temperature means that the process has occurred with energy influx or outflow (diabatic process). Potential temperature value can be calculated from the above formula or determined with the aid of an aerological diagram.

Although the potential temperature of an air parcel does not vary with its vertical displacement, the measured temperature of the air in the ascending parcel falls by $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$, and it rises by $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$ in the descending parcel.

Equivalent temperature (T'). Equivalent temperature is the temperature the air would take if all the water vapor it contains has been condensed at constant pressure, and the released heat has been used to warm the air. As was mentioned above, condensation of 1 kg of water vapor releases 2501 kJ of latent heat. This amount of heat will raise the air temperature by $2501/c_p$ degrees, where $c_p = 1005\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ is the specific heat capacity of the dry air at constant pressure. If the air contains s grams of water vapor per kilogram of humid air, the equivalent temperature of the air will be:

$$T' = T + \frac{2501}{1005}s = T + 2.5s \approx T + 2e$$

where e is the water vapor partial pressure in mm of mercury. The freezing 1 kg of water additionally releases 333.5 kJ of heat. In this case the equivalent temperature with respect to ice will be equal to:

$$T' = T + 2.8e$$

The notion of equivalent temperature is widely used for various theoretical calculations.

Pseudo-equivalent temperature (T_{se}). Pseudo-equivalent temperature is the temperature the air would take if it had been adiabatically ascended until all the water vapor contained in the air had condensed and then, being dry, adiabatically descended back down to the initial level. The pseudo-equivalent temperature differs from the measured temperature by an amount equal to temperature increment caused by the latent heat released due to condensation.

Pseudo-potential temperature (Θ_{ps}). Pseudo-potential temperature can be defined in the same way as the pseudo-equivalent temperature with the only difference being that the dry adiabatic descent should be taken down to the standard level of 1000 hPa rather than the initial level. The line connecting points of equal pseudo-potential temperature is called the *moist adiabat*. Pseudo-potential temperatures are determined with the aid of an aerological diagram.

Equivalent-potential temperature (Θ_g). Equivalent-potential temperature is the temperature the air would take if all the water vapor in the air had been condensed at constant pressure and all released latent heat was used to warm the air and then it was adiabatically brought to the standard level of 1000 hPa.

$$\theta_e \approx \theta \exp\left(\frac{2.5s}{T_k}\right)$$

where T_k is the condensation temperature in degrees K.

Note, all these derived temperatures cannot be measured; they are to be calculated. Although there are some more "special temperatures", we presented here only six which seem to be most important. Three of them, namely, virtual, potential and equivalent-potential temperature are most widely used in various forecasting procedures.

4. WIND IN THE ATMOSPHERE

In this chapter we consider the relationship between the wind and pressure, and discuss some derived winds that are of value to meteorologists.

Wind and pressure

As we have already noted, the atmosphere is in constant motion, i.e. wind is observed at all times. The reason for the air motion (wind) is the uneven distribution of the atmospheric pressure over the globe. Like in connected vessels where the liquid strives to make the levels equal, the atmospheric pressure at a certain level also endeavors to become even. Therefore, in the atmosphere flows of huge air masses arise. These flows are directed from higher-pressure areas to lower-pressure ones. In other words, the atmosphere pressure gradient (G) is responsible for the motion of the air mass. However, moving on the spinning Earth, the displacing air mass immediately falls under the influence of a deviating force known as the Coriolis force (K) that deviates the flow to the right (in the northern hemisphere) from the movement direction at an angle of 90°. Under the influence of these two

forces the air begins moving in the direction U_0 (see figure 4.1 a).

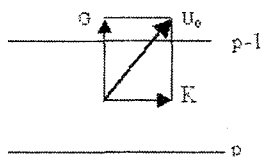


Figure 4.1a.

A scheme of the air movement initiation under influence of pressure gradient (G) and Coriolis (K) forces.

Meanwhile, the Coriolis force will continue to deviate the flow to the right until these two forces become balanced (see figure 4.1 b) resulting in steady-state motion of the air.

The pressure gradient force is directed perpendicular to the isobars. Therefore, to balance it, the Coriolis force must be directed in exactly the opposite direction. This means that the steady-state air motion must be directed parallel to the isobars in such a way that the lower pressure remains to the left of the wind direction, and the higher pressure to the right. The steady-state horizontal air motion in the straight-lined isobar field in the absence of friction forces is called the *geostrophic wind* (U_g). There is a formula to calculate the geostrophic wind.

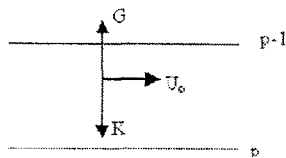


Figure 4.1b.

Steady-state air motion.

$$U_g = -\frac{1}{\rho 2\omega \sin \varphi} \frac{\partial P}{\partial n}$$

where $\omega = 7,29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ is the angular velocity of the Earth's rotation,

φ is the latitude, ρ is the air density, and $\frac{\partial P}{\partial n}$ is the horizontal pressure gradient along the normal n to the isobars.

However, friction forces act in the boundary layer of the atmosphere. There are two such forces. One of them is the friction caused by the underlying surface roughness, and the other is eddy friction force caused by the turbulence viscosity. The resulting force (F) of these two affects the moving air. Actually, in the boundary layer two forces (K and F) balance the pressure gradient force (G) as shown in figure 4.2.

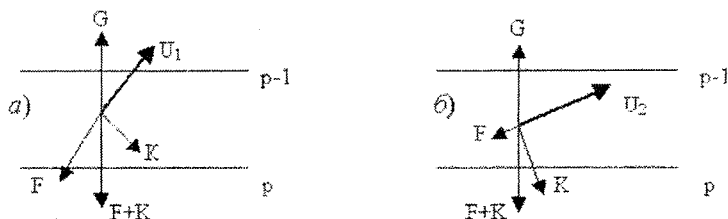


Figure 4.2. Evaluation of the air motion velocity at different values of the friction force.

As is seen from the figure, in cases (a) and (b) the pressure gradient force has the same value while the friction forces are different. In case (a) the friction force (F) is significantly larger than in case (b). It is also seen that the angle between the isobars and wind vector U_1 is larger than that between the isobars and wind vector U_2 . Hence the smaller the friction force, the closer the wind direction is to that of the isobars.

Since the main friction effect comes from the underlying surface, the friction force diminishes with height resulting in the wind direction approaching that of the isobars away from the surface.

Now it is the proper place to introduce the notion of the *boundary layer of the atmosphere*. This is the layer from the earth surface up to altitude 500–1500 meters, within which, due to eddy mixing, diurnal variation of meteorological parameters is very well defined, and the amplitudes of the variation decreases with height approaching zero at the top of the layer. The lower part (20–250 m) of the boundary layer is called the *surface layer*. Within this layer the eddy coefficient increases with height, and this causes rather large vertical gradients of meteorological parameters.

As it was stated above, the wind deviates from being parallel to the isobars due to frictional effects. The bigger the force, the larger the deviation angle. This is why over water surfaces the angle is taken to be 15–20°, and over land surfaces 30–45°.

The wind velocity variation with height is well described by the Ekman's spiral that is shown in figure 4.3.

Figure 4.2 allow us to make one more conclusion. As follows from the figure, the lower pressure is found to the left of the direction of air motion, and the higher one to the right. Now imagine that isobar field



Figure 4.3. Ekman's spiral.

is a closed circle or oval and the lower pressure is found at the field center. This pressure system is called a *low* or *depression* (for Russian *циклон*). For the lower pressure to be to the left in such pressure field, the air motion must be going counterclockwise. That is what we actually observe in depressions of the Northern Hemisphere. If at the center of the closed isobar system pressure has the highest value, such system is called an *anticyclone*. Using a similar reasoning it becomes clear that in this case the wind will be directed clockwise. These reasoning are valid for the Northern Hemisphere.

With air motion in curved isobars, both closed and non-closed, the centripetal acceleration has to be taken into account. If there is no friction, the wind associated with a balance between the pressure gradient force, Coriolis force and centripetal acceleration is called the *gradient wind*. However, if the Coriolis force is negligible compared to the pressure gradient force and centripetal acceleration the resulting wind is called the *cyclostrophic wind*. Note that the geostrophic, gradient and cyclostrophic winds are all theoretical winds.

At the surface there is always friction so the actual winds in depressions and anticyclones always deviate from the isobars toward the lower pressure side, i.e. the wind vector turns always clockwise.

Derived winds

In addition to the observed wind, there are some other "derived winds".

Isallobaric wind. This is the wind component caused by temporal pressure variations. Due to this component the actual wind in the free atmosphere, where the friction force does not act, deviates from the gradient wind direction. However, this deviation does not exceed more than 20° . The notion of this wind has no practical value; it is only used in some numerical experiments.

Thermal wind. This is the vectorial difference between the geostrophic wind vectors at upper and lower boundaries of an atmospheric layer. The value of this difference is proportional to the horizontal gradient of the average temperature with respect to height in the layer, and its direction coincides with the isotherms of average temperature in such a way that the lower temperature is to the left of the wind direction. That is why this parameter was given the name thermal wind.

Examples of the thermal winds, which can cause the horizontal transfer of warmer air towards colder air (that is termed *warm advection*) and vice versa (*cold advection*), are shown in figure 4.4.

Position (a) illustrates a warm advection and position (b) cold advection. In figure 4.4 U_0 represents the wind vector at the lower level, U represents that at the upper level, and ΔU_0 denotes the thermal wind. Examining figure 4.4 makes clear that wind changes in a clockwise direction (i.e. the wind *veers*) with height when there is warm advection and counterclockwise (i.e. the wind *backs*) for cold advection. In other words, with the warm advection (4.4 a) the wind moves to the right side and with the cold advection to the left side (4.4 b). In meteorological practice these rules are widely used when meteorologists determine advection character from only the wind sounding data.

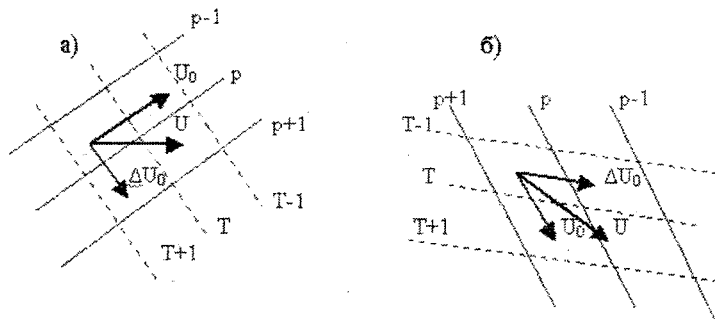


Figure 4.4. Thermal wind examples at warm advection (a) and cold advection (b).

Average wind. This is determined as the average vectorial value of the wind vectors observed within that layer. To determine the average wind, the wind sounding data are used. In an arbitrary chosen scale on a piece of paper the observed wind vectors are plotted and a resulting vector is determined in the way shown in figure 4.5. Direction of the resulting vector indicates the average wind direction. To determine the average wind speed the length of the resulting vector should be divided by the number of summed up vectors.

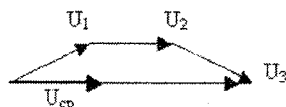


Figure 4.5.
Determination of the thermal wind.

Relative wind. This is a wind in a relative coordinate system.

Absolute wind. This is the wind which equals the sum of wind velocities relative to the Earth's surface and to the speed of the Earth's rotation.

Equivalent wind. This is a calculated wind that has a constant speed, directed along the trajectory of a flying vehicle. It influences the flight in the same way as the actual wind does. The notion of the equivalent wind used to be in practice some time ago. Now it is considered obsolete.

Jet streams

Jet streams are strong, comparatively narrow air currents in the free atmosphere at altitudes of more than 5 km. Meteorologists have agreed that an air current is considered to be a jet stream if its speed is 30 m/s (100 km/h) or more. Observations suggest that the thickness of jet streams does not usually exceed 10 kilometers, with a width of a few hundred kilometers and length of a few thousands kilometers. Some cases have been reported with the jet stream going around the whole globe. The maximum registered wind speed in jet streams over Russia was 340 m/s.

Meso-jet streams are air currents at altitudes 200–500 meters. The speed of this current is 15–30 m/s. These streams can appear at nighttime over inversions within the area occupied by low level anticyclones. It should be noted that at the same time the surface wind usually does not exceed 3 m/s. The meso-jets disappear 2–3 hours after sunrise (as the surface inversion is destroyed). However, in winter, especially in Arctic and Antarctic, they may exist for a longer time.

It is interesting

–The strongest surface wind was recorded in a mountainous area of the USA. Its speed was 129 m/s, or about 450 km/h.

–In the 1940s when radiosounding had been in its childhood, meteorologists did not believe that the wind speed in the free atmosphere could be more than 100 km/h. The jet streams were not yet known. Now we know a lot about this phenomenon. The maximum jet stream speed of 750 km/h was recorded over the North Pacific. If IL–18 airplane that flies with speed 650 km/h happens to fly against this jet, its speed relative to the Earth's surface would be negative, i.e. it would fly by "its tail forward" with the speed 100 km/h.

–When speaking about relative wind, we have in mind the airflow relative to the Earth's surface. Otherwise we would get confused. Really, the Earth flies along its orbit around the Sun with the speed of 30 km/s. If we account for the Earth spinning around its axis, every point at the latitude 60° (S.Petersburg, or Stockholm) is traveling at 230 m/s, and the wind speed can be just 5 m/s or so. Imagine what would happen if we have change the system of reference?

5. WATER IN THE ATMOSPHERE

In this chapter we consider the processes of evaporation and condensation, and how this explains the growth of cloud elements. We also consider why it is that cloud elements remain within clouds rather than falling out.

Condensation, evaporation and growth of cloud elements

Water rotation in nature is known to everybody from their school lessons. The Sun warms land and water surfaces, the water from the surface evaporates, the water vapor is lifted to the atmosphere, where it condenses and then water droplets or ice crystals precipitate on the surface. Annually 355000 km^3 of water evaporate from the Earth's surface. Although the evaporated water rapidly returns back to the surface, still about 13000 km^3 of water is always found in the atmosphere. That is a very big quantity. This amount of water exceeds the water contained in all river basins in the world by 11 times. The water store in the atmosphere is renewed about every 9 days, i.e. 40 times a year.

How does the water get into the atmosphere? There is only one way; that is evaporation followed by eddy and convection transport of the water vapor. Evaporation is a process of water molecule coming off from the surface. Evaporation intensity depends on temperature, wind speed, and, to a certain degree, on the atmospheric pressure. The nature of the evaporation can be presented in the following way. Imagine a horizontal water surface (figure 5.1). From the surface

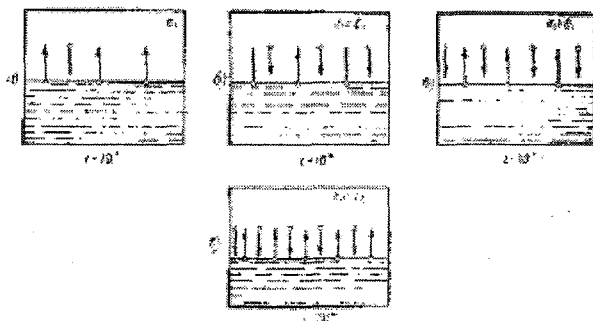


Figure 5.1. Explanation of the evaporation process nature.

molecules come off (evaporation) and come back to the surface (condensation). Depending on which process prevails, one can say that

either evaporation or condensation is taking place. When the number of molecules coming off is equal to the number coming back, we say that the air is saturated. The saturated water vapor pressure (E) increases with the air (and surface) temperature increase, i.e. if $T_1 < T_2$, then $E_1 < E_2$.

Saturated water vapor pressure also depends upon the state of the substance. The stronger the effort required for the molecules to come off, the smaller the saturated water vapor pressure. That is the reason $E_{ice} < E_{water}$, and the E value is smaller over a concave surface than over a flat one, and even smaller than over a convex surface (see figure 5.2).



Figure 5.2. Evaporation from the different curvature surfaces.

It is interesting

—Have you ever run in the water? If you have, you may recall three possible cases. The first one as the water is up to your ankle, the second case when the water is up to your knees, and the third it is up to your waist. It is natural that at the last case you must make the largest effort to get out of the water.

From the reasoning above it follows that the saturated water vapor pressure is larger over smaller droplets than over larger ones. Now imagine a situation when the saturated water vapor pressure in a cloud (e) is larger than over bigger droplets and smaller than over smaller droplets ($E_l < e < E_{sm}$). Hence, the smaller droplets will evaporate, while the water vapor will condense on the larger droplets, i.e. the larger droplets will grow at the expense of the evaporation of the smaller ones.

A similar situation occurs with the cloud element growth in mixed clouds consisting of water droplets and ice crystals. The crystals grow at the expense of both large and small droplets. The growth of the cloud element results in precipitation.

The water in the atmosphere can be in three phases: *liquid water (droplets)*, *ice crystals*, and *water vapor*. Sometimes the liquid water can be in a *supercooled state*. However it cannot be considered as the fourth phase.

The state of the water in the atmosphere depends upon temperature (T) and pressure (p). It can be determined from the water state diagram that is also known as the Magnus curve (figure 5.3).

Let us turn our attention to the diagram. Suppose parameters of the atmosphere correspond to those at the point "A". In this case the water vapor partial pressure at point "A" (e_A) is smaller than the saturated one (E), i.e. $e_A < E$. Hence, in this situation the evaporation process will take place. Just the opposite situation occurs at point "B", where $e_B > E$, and that means that in this case the water vapor condensation will take place. At point "C" water vapor and liquid water is in equilibrium, and the air is saturated with water vapor, i.e. $e_C = E$.

As is shown in figure 5.3, at negative temperature the saturated water vapor pressure over water is just a bit larger than over ice. This "just a bit" is quite enough for initiation of some important processes in the atmosphere. As was mentioned above, due to this "just a bit", in clouds the crystals grow as a result of the droplet evaporation. Another important process refers to the interaction between snow cover and fog. They say, and this is true, that the snow cover "eats up" the

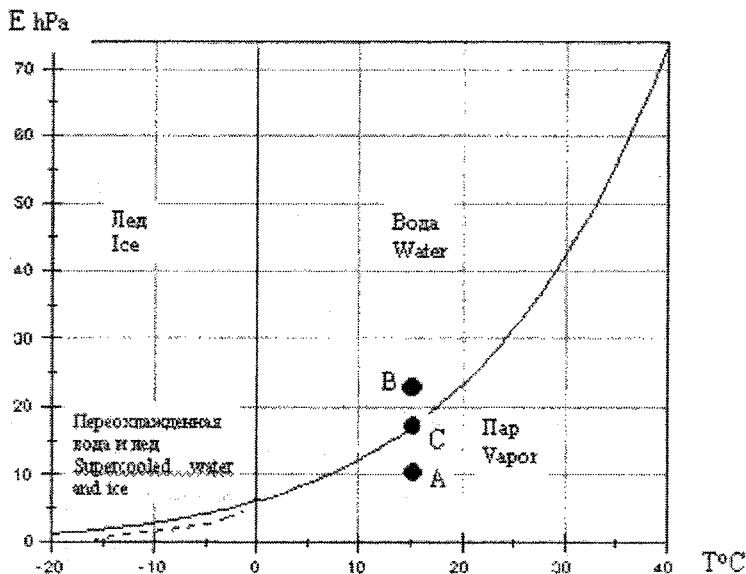


Figure 5.3. Magnus curve. Diagram of the water state in the atmosphere

fog. Really, the fog droplets evaporate, and the vapor sublimates on the snow crystals. In this way the fog water content decreases and one can get an impression that the snow cover is "eating" the fog.

It is interesting

—A tricky question: please, show on the diagram (figure 5.3) the point corresponding to the water vapor state in your room.

—As indicated above, a small difference of the saturated water vapor pressure over water and ice ("just a bit") results in some important and interesting processes in the atmosphere. This fact, in a way, resembles the operation of an ordinary lift. A necessary part of every lift is a counter weight that is "just a bit" heavier than the lift cabin with passengers. As a result, even a small power motor is sufficient to move the cabin whatever weights the cabin would have. Here, like in the atmosphere (or vice versa), the principle "just a bit" works.

—Speaking on evaporation and condensation, it is worth citing an example. One birch tree evaporates annually a few thousands liters of water into the atmosphere. It means that for only one clear sunny day every tree evaporates 3–5 pails of water. And that is just a tree for a day only!

—Now an example on evaporation that shows the strength and the greatness of the atmospheric processes. Imagine a "cb" (thunderstorm) cloud of a moderate size (10×10 km in the horizontal direction and 5 km in height). Let its water content will be only 1 g/m^3 which is a bit less than normal for a "cb" cloud. A simple calculation suggests that in such a cloud the amount of water would be 5×10^5 tons or 10000 rail tank-trucks of water. The volume is sufficient to fill a basin of 5 meters in depth, and horizontal size of $100 \times 1000 \text{ m}^2$. This amount of water appeared in the air due to condensation of the water vapor contained in the air. It is worth recalling that condensation is accompanied by the latent heat release. If all released heat would be spent for warming the water that filled a basin of volume $5 \times 100 \times 6000 \text{ m}^3$, the water temperature would increase from 0 to 100°C . This amount of energy is comparable with the energy of a nuclear bomb.

Why do cloud elements remain in clouds?

There is one more interesting question. Everybody knows that the water, as well as water droplets, is heavier than the air. However, the water droplets do not fall down at once after they have appeared. Why? The reason is vertical motion that almost always exists in the atmosphere. Even though the speed is not more than a few mm/s, it is sufficient to prevent the droplets falling to the Earth. As soon as the droplets, in the process of enlargement, become large enough, the vertical motion cannot hold them in suspension any longer, and they precipitate on the Earth's surface as rain or snow. Did you happen to

make soap — bubbles in your childhood? If you did, it is easy for you to imagine the rain drops as small soap — bubbles!

Vertical motions in the atmosphere arise for a variety of reasons. For instance, there is a type of the motions that is caused by airflow confluence. These motions occupy huge areas. As a matter of fact, they are vertical components of a large-scale (thousands kilometers) general air motion. This is why we call them *large-scale vertical motion*, although the value of the vertical components is just a few mm/s or cm/s. This type of the motion is responsible for stratiform cloud formation.

Another type of vertical motions occurs in comparably narrow (a few km or tens of km) air currents directed upward. The speed of the air in such currents can reach a few tens of meters per a second. These motions have the name *vertical current*. They are responsible for the formation of clouds giving shower type precipitation

The vertical currents arise when the atmosphere is statically unstable. This kind of the atmosphere state appears as a parcel of air for some reasons becomes warmer than the environmental air. Being warmer and consequently lighter this parcel starts rapidly ascending. Then it is followed by some others parcels. That is the way the vertical currents arise. Recall the smoke of a fire. The smoke is in the warm air parcel over the fire and you can easily watch how it rises. A more heated piece of a land, for instance a ploughed field, surrounded by a forest, is that "fire", in which instability and vertical currents in the atmosphere are produced.

6. UNFAVORABLE AND DANGEROUS WEATHER PHENOMENA

In this chapter we consider the impact of temperature, pressure, wind, precipitation, fog, thunderstorms and hailstorms on people and economic activity.

Definitions

Unfavorable and dangerous weather phenomena are those resulting in death of people and large economic losses. At present the following terms concerning these phenomena are adopted.

- *Dangerous phenomenon (DPH)* is the phenomenon the intensity and duration of which exceeds the limits defining it as being dangerous.
- *Unfavorable meteorological phenomenon (UMPH)* is the phenomenon the intensity and duration of which does not reach the limits defining it as being dangerous.

In principle, all meteorological phenomena can be regarded as dangerous.

It is interesting

—Once, at a school, the teacher of chemistry was asked whether "an inoffensive substance" is toxic. The teacher answered that all substances can be toxic, even sweets depending on how much of it one has eaten. The same thing applies in the nature. Every phenomenon can be dangerous. It all depends on its intensity and duration.

Let us consider the main meteorological parameters and phenomena, and evaluate their danger for people and various economic activities.

Low temperatures

Low temperature is an uncertain notion. For S.Petersburg and Moscow the temperature is low if its value is -20°C or lower; for Jukutia -40°C or lower; for Sochy -10°C or lower. Hence, the notion "low temperature" depends on the geographical position of the region.

Low temperatures at the surface strongly influence human activities in many ways.

A man can get frostbite. The possibility for getting frostbite depends on the temperature, wind speed, duration of staying out of doors, and clothes.

Construction organizations may face the problem of discontinuance of out-of-doors construction work and limiting of some indoor work.

Sport competitions can be cancelled due to low temperature and the possibility of sportsmen getting frostbite.

Municipal economy and house-heating complexes can have a problem with freezing of the heating systems and the need to change the operation of the boiler-house to a critical regime. Low temperatures result in prolongation of the heating season in towns. In S.Petersburg, prolongation of the heating for only one day calls for additional expenditure of \$170000, and the heating 1 m^2 of a dwelling costs about \$3 a year.

Automobile transport operations become much more complicated both for the car mechanisms and drivers. For example, in the far Northern regions the drivers do not switch off the engines for the whole 24 hours since at the very low (well below freezing point) temperatures starting the engine is practically impossible.

Railway transport can meet some great difficulties with the rolling stock operation and with people working in frosty weather conditions.

Marine transport can face the possibility of the vessel icing and the crew having difficulty working on the deck.

In *agriculture* a situation can arise when all winter crops and orchards may be killed by frost. Consequently animal farms and greenhouses will require additional heating which requires with extra expenditure and increases the risk of fire occurring.

Fuel economy can face the possibility of crystals forming in the automobile or aviation fuel if the fuel is not stored correctly. The crystal formation makes the fuel unusable.

Metallurgy may suffer due to pieces of ore freezing together in railway wagons. That makes the ore become impractical for processing in the factories because of the long time needed for unfreezing the ore and removing it from the wagon. Alternatively measures need to be taken to keep the ore from freezing. All these increase the cost of production.

Work and life in reserves require additional care of trees and feeding animals and birds that lead to some extra expenditure.

Some industrial harmful activities may result in the formation of smog that badly affects the ecological situation in the region.

Mining industry, when working in open quarries, can face the possibility of smog formation at the bottom of the quarry and significant fall of temperatures between the upper and lower levels of the quarry. In one of the quarries in Kolsky peninsula the air temperature at the bottom was recorded to be -42°C , while at its top only -18°C .

Tourist agencies and resort organizations can experience diminishing tourist flows.

Electric power supply systems need to increase the output of electric power plants up to the highest level.

High temperatures

The notion of high air temperature, like the low one, is not strictly defined. People do not always enjoy the high temperatures, and those engaged in different branches of the economy may have problems with such temperatures.

For those working in *agriculture* the high temperatures may become a cause for crop losses due to drought, may diminish the amount of the stored hay, and may require some efforts to find additional sources of fresh water for livestock. Besides, the high temperatures can result in creating a fire risk with unpredictable consequences (devastation of the livestock, fodder, and crops).

For those working in *forestry* the high temperatures produce a threat of forest fires that usually results in the death of birds and ani-

mals, and in losses of trees. According to statistical data, in Russia annually 1000000 hectares of the forest perish due to fire and the same amount is cut down.

For *every citizen* the high temperatures are dangerous for health, especially for those suffering heart vascular disease, asthma, and sugary diabetes. At high air temperatures, the amount of oxygen decreases in the air. That is also not a reason for a good feeling. A noticeable change in the state of a human being occurs as the air temperature rises from 36 to 37°C. When the air temperature is equal to 36°C, the body still "gives away" some (although very small) amount of energy into environment. When the air temperature becomes 37°C, the body heat "has no way to go anywhere".

For *municipal economy* the high air temperatures create a "head-ache" associated with the necessity to water flowers, gardens, and even parks and streets, with increased frequency of work for rubbish removal, and with a fire threat.

For *all kind of transport* the high air temperatures are unfavorable because they create hard working conditions for drivers (crews), increase the fuel consumption, and require making longer running starts and landing run for airplanes.

Air temperatures around 0°C

Once again, like high and low temperatures, the air temperature around 0°C affects various branches of the economy in different ways. Let's take a few examples.

For *agricultural activity* a small decrease of the air temperature around 0°C (frost) can kill the winter and spring crops. If the frost occurs at the time of fruit-tree blossom, it can kill the crop of fruits in orchards. Besides, at an air temperature around 0°C the condition of country roads become impassable and the wires of the overhead communication and electric power transmission lines can be ragged due to adhesion of wet snow and ice. This creates a dangerous situation not only for agricultural enterprises.

For *municipal economy* these air temperatures are unfavorable and even dangerous because they require an additional care of roads. It is necessary to clean the mud and wet snow from pavements and street roads and, in the case of glaze, to scatter a mixture of sand and salt (to do this only once for all the road in S.Petersburg costs \$240000). Another problem is caused by icicles. They are very dangerous and, therefore, must be knocked down. However, to find volunteers to do this job is not easy, and, more

over, the municipal services often do not have enough money to properly pay for this work.

The solution of the problems associated with such kind of weather requires a lot of money. Sometimes, wishing to save money, the municipal services disregard their responsibilities. The pavements, roads, and buildings remain with mud, wet snow, glaze, and icicles. Certainly the municipal services save their money but the public health department becomes "bankrupt" because it spends a lot of money treating numerous breaks, bruises, and other injuries.

For *public health institutions* having temperatures close to 0°C is undesirable not only because of various injuries but also due to catarrh diseases when the number of people affected exceeds the epidemic threshold. In the case of influenza the epidemic threshold is considered to be when one in every 500 citizens seeks the help of physicians.

For *energetic and communication enterprises* the air temperatures close to 0°C are harmful because of the possibility for glaze formation and sleet sticking to the wires. This may result in the breaking of overhead power transmission lines. To fix a broken line, the repair team has to get to the place where there are broken wires by the impassable roads. Besides, this kind of weather is usually accompanied by high air humidity. With these conditions the losses of the electric energy in transmission lines significantly increases and that may result in some undesirable consequences.

For all kinds of transport enterprises having the air temperature slightly below 0°C is also "not a desirable gift". For *aviation* it may result in icing of aircraft when they are on the ground or icing of runways. Hence, postponed flights or/and turning back of the planes occurs since they cannot make a landing (due to runway icing) at the destination airport. For *automobile transport* road icing decreases the speed of car movement and increases the amount of traffic accidents. For *railway transport* near zero temperatures can cause contact wires to be broken, rolling stock icing, and significant deterioration of the conditions for outdoor work. For *the river and marine fleet* near zero temperatures create the possibility of vessel icing.

For *constructing companies* near zero temperatures can be a reason for the access roads to become impassable resulting in construction mechanisms standing idle. Besides, the work at the building sites becomes dangerous.

The information given above makes clear why the air temperatures can sometimes be an unfavorable condition, and in some instances even dangerous one.

Atmospheric pressure and its variations

Atmospheric pressure and its variations is the least "harmful" weather condition, although near the ground it can vary over a wide range. Some cases were reported when the pressure value at S. Petersburg has been as low as 720 mm mercury, and as high as 790 mm mercury.

The value of the atmospheric pressure affects the way people feel. One of its effects is that the low pressure diminishes the oxygen content in the air. It makes a negative impact on every human being in the region. A second one influences ill people. Those suffering from low blood pressure feel unwell, when the atmospheric pressure is low, as do those suffering from high blood pressure when the atmospheric pressure is high. Therefore, the appreciable lower or higher atmospheric pressure makes our physicians, polyclinics, and other medical institutions work harder.

It is interesting

—Our heart ("pump" or "motor" whatever you may like to name it) makes the blood travel through our blood vessels. After every impulse of the heart the next portion of blood goes into our vessels. When receiving every portion of blood, the vessels pulsate a little. Doing so, they have to widen, thus increasing the diameter. Therefore, even at normal blood pressure (120/60 mm mercury) our vessels overcome the effect of the atmospheric pressure. For persons with higher blood pressure it is necessary that the vessels become wider as much as possible to lower their blood pressure. However, the high atmospheric pressure "hinders" the vessel widening. That is why ill persons are badly affected by high atmospheric pressure. As to those suffering low blood pressure, everything is just the opposite. Although this explanation is very primitive, we hope that some of the processes in human organisms became more understandable for the readers.

Thus the atmospheric pressure variations, especially sharp ones, result in deterioration of the people's feelings. Besides, the sharp pressure fall leads to a strong wind that makes some undesirable impacts on various branches of economy.

Wind

A light wind at the surface is a good thing, while a strong wind is always a problem for everyone and everything. Some cases were reported when the wind speed reached 65 m/s or more. Naturally, such a strong wind is considered by people to be a catastrophic event. Officially, we consider the wind to be strong if its speed becomes more

than 15 m/s. Not specifying its speed, let us see how the "strong wind" influences various economy branches.

For *agriculture* the strong wind is a dangerous phenomenon because it may result in the need to store crops and the consequent loss of crops in fields and orchards. In addition there may be damage to agricultural buildings.

For *energy enterprises* a strong wind is dangerous because of the possibility of destruction of electric power transmission lines: breaking wire, damage or overturning of the wire bearings, and damage of transformer substations. As a result, the consumers will not receive the required amount of power and that can lead to so called "missed benefit" for many economy structures.

For *communication services* the strong wind "brings" problems associated with overhead line usage. These lines still exist in rural areas. When the wires of a line are on the old (or even very old) wooden poles, the strong wind can easily damage these poles creating a big problem for the telecommunication workers.

For *all kinds of transport* the strong wind cannot be regarded as "good". For *aviation* the strong wind is an unfavorable phenomenon. It may result in damage to aircraft staying on the ground, in postponing flights, in closing airports, and in planes and helicopters having to return without completing their flight. The flight postponing and airport closing can be considered, as "missed benefit" but the damages of aircraft and returned flight are the losses in an "absolute form".

During strong wind conditions *motor transport* is forced to decrease the speed of motion (that is particularly true for the high capacity motor transport) and, hence, to increase the fuel consumption and the time needed for the transportation of the goods. Besides, the dust lifted by the strong wind deteriorates visibility and negatively influences the work of the engines. All these cause some additional expenditure, additional decrease of vehicle speed, and increase of traffic accidents.

Railway transport also suffers from strong winds although it "runs" on the railway. The strong wind can break the contact wires, produce snow-drifts on the railway bed, and hamper the work of hoisting cranes in the goods junctions.

Water transport is also greatly affected by the strong wind. First of all, the strong wind causes waves on the water surface. The waves make navigation very difficult and less safe due to the possibility of the loads being displaced. Besides, the strong wind excludes the proper working of the cranes in ports and significantly hampers the vessel motion in the navigable channel.

Municipal economy in towns and villages can suffer from strong winds. For example the wind can break wires of various overhead transmission cables; tram and trolleys contact wires, and fell trees. The felled trees can block traffic and make some damage on the streets. Besides the strong wind may result in broken roofs, felled advertising shields, broken windows, and even in human deaths. In the Far East the strong wind associated with a tropical cyclone can cause losses of about \$10000 every hour.

For *forestry* the strong wind is a danger because it causes so-called "wind fallen wood". Not only do the trees fall down, but also they block forest roads and cuttings. To remove the fallen wood from the forest costs a lot of money.

For *building organizations* the strong wind can become a reason for the termination of work. According to their technical characteristics various tower cranes can operate at wind that does not exceed a critical speed. For example, some cranes cannot operate if the wind speed exceeds 17 m/s and for some other cranes the threshold is 22 m/s. On average, one crane standing idle for an hour leads to losses of \$150. Besides, the crane standing idle causes missed benefit due to termination of the construction operations. Unfortunately, by breaking accident prevention rules, the builders often continue working at a wind which is stronger than that allowed for the cranes.

Organization of fuel and energy-production complex (FEPC). The strong wind limits the operation of drilling rigs. As well as for building organizations, critical wind speeds are established for various kind works of FEPC objects. Unfortunately, the accident prevention rules are sometimes violated here as well.

Precipitation, snowstorms and fogs

Precipitation, snowstorms and fogs can make some undesirable impacts on various branches of the economy. We'll discuss here just a few examples. Our readers will be able to find all the rest themselves.

For *agriculture* heavy precipitation is dangerous because it may result in the storing of crops, the impossibility of harvesting, and in making roads become limp so that crops cannot be brought out. Early snow falling on the fields can "bury" all production made by the agricultural farm during a year. Meanwhile one must not forget that precipitation is necessary for the normal growing of plants. In the case of drought or lack of rainfall the crops may perish.

For *energy enterprises* precipitation and fogs are unfavorable phenomena. They cause significant losses of power in the overhead

transmission lines. As stated above, due to precipitation the country roads become impassable, and snowstorms produce snowdrifts on the roads. Consequently these phenomena do not allow for proper monitoring of the complicated power transmission system. It is known that this system needs some regular preventive inspections and, if necessary, some maintenance. However, the maintenance crew has somehow to get to where the lines are located in order to make inspections and carry out repair work. It is here that the main problems arise with respect to the effects of precipitation, snowstorms, and fogs on the energy enterprises.

The communication services experience the same kind of problems with precipitation, snowstorms, and fogs as the energy enterprises.

Precipitation, snowstorms, and fogs are unfavorable (and even dangerous) phenomena for *transportation enterprises*. As to *aviation*, these phenomena can cause flight cancellations (delays), airport closures, and, in the case of an unsuccessful weather forecast, the return of aircraft. All these result in significant losses. For instance, one aircraft return "costs" about \$4000, airport closing for an hour costs \$3000, and intensive work for cleaning snow from Pulkovo airport costs \$3000 an hour.

When these phenomena occur automobiles have to decrease their speed of motion due to low visibility, bad state of the roads, and snowdrifts. The road services have to make a lot of effort to clean the roads. It is worth mentioning that use of a cleaning machine costs about \$20 an hour, and maintaining 100 km of road in working conditions (due to unfavorable weather conditions only) costs about \$25000 a year.

It is interesting

—Once, newspapers in France published a story about an unusual traffic accident which occurred in thick fog. On a highway two cars were running toward each other. The accident occurred as both cars were just passing one another. The drivers of the cars were taken into a hospital being in very bad conditions. However, the cars remained absolutely undamaged. To explain the accident more clearly, the detail was cited in the newspapers. Because of the low visibility in the fog, each of the drivers dropped down the side window of the cars and leaned out the window. At the moment the cars were passing the brows of the drivers collided. As to the cars, they remained safe and sound.

As to the *railway transport*, the most significant dangers are snowdrifts and the possibility of the railway bed being washed away during heavy and long duration precipitation. The *water transport* experiences some difficulties at low visibility condition. The boat crews

have to decrease the speed of motion and take special care when the boats are moving along narrow channels and when making moorings.

Municipal economy is mostly affected by heavy shower type rains and snowdrifts. Those working in the economy must keep in good order so called pouring rain sewerage, clean off the roads and inner yards, and remove the snow from the streets and yards. In mountainous regions some problems may arise because of avalanches, landslides, mud flows, etc.

Building organizations have to allocate some additional resources to maintain in working order their tracks (they are not in a best condition even in fair weather) when heavy rains occur. Sometimes they are even forced to stop assembling and decoration work of unfinished structures. Hence, the volume of works decreases and the organization can miss the benefit.

For *fuel and energy complexes* precipitation, snowstorms, and fogs create the same difficulties as for other organizations. In addition, some appreciable problems arise for those working in open-cut mines.

Precipitation, snowstorms, and fogs can make some undesirable impacts on the feelings of *human beings*. This kind of weather is to be considered as unfavorable rather than as fair for human health. It is why, when these phenomena occur, the load on medical institutions increases. Ambulance services, hospitals, polyclinics, medical personnel of sanatoriums and rest houses have to significantly increase their activity.

From the discussion above it becomes clear that various branches of the economy need specialized *forecasts* about the state of the roads, drying out of natural ground airfields, snowdrift development, etc. And it is obvious that such specialized forecast must be specific for different branches of the economy.

Thunderstorms and hailstorms

Perhaps thunderstorms and hailstorms are the most dangerous weather phenomena. There is no branch of economy, for which the thunderstorms and hailstorms would be a pleasure. Let's cite a few examples.

For *agriculture* the thunderstorms and hailstorms are dangerous because they can demolish the crops in the fields, the crops in orchards and vineyards. Besides, they are also very dangerous for rearing stock. First of all there is destruction of cattle-breeding buildings, then there is the possibility for fire as lightning hits these buildings, and, finally, there is the possibility of cattle injury and even injury due to heavy hail stones.

It is interesting

- A thunderstorm is one of the most dangerous weather phenomena.
- On Earth about 44000 thunderstorms are observed every day, that is 1800 thunderstorms in an hour, every minute 100 lightning glitter in the sky.
- The energy of all thunderstorms is equal to one-thousandth part of the energy arriving from the Sun. Since the time of M. V. Lomonosov, experiments for utilization of this energy have been conducted and go on at present. However, unfortunately, they are not successful so far.
- The energy in a thunderstorm cloud of 10?10 km² area and 5 km thick is comparable with the energy of 10 atomic bombs, similar to the one dropped on Hiroshima.
- Ascending motion in a thunderstorm cloud can be as strong as 50–60 m/s and descending motion can be 30–35 m/s (200 and 100 km/h respectively).
- In front of a thunderstorm cloud squalls can develop with the wind speed being more than 60 m/s (230 km/h).
- The amount of water in a thunderstorm cloud with 100 km² area and 5 km thick is sufficient to fill up the basin with a volume of 1000?100?5=5?10⁵ m³. That is about 15000 tankers. All this amount of water is contained in a single cloud! That is a great power!
- For a cloud droplet of 20 microns in diameter to reach the size 2 mm, 1000000 (a million!) collisions with the similar droplets need to occur.
- Thunder itself is not a danger for human beings. However, we are not able to react to lightning. We try to protect ourselves when we hear the thunder.
- If we divide by the time interval (in seconds) between the moment we see the lightning and the moment we hear the thunder, we'll get the distance from us to the place where the lightning had occurred.
- In a heavy downpour the visibility range can decrease down to a few tens of meters. Some cases have been known when all surface transport had to stop working due to poor visibility in a heavy shower.
- The total force of the shower raindrops pressing on the surface of the airplane TU–154 is...2,5 tons.
- Some thunderstorms are accompanied by a hailstorm that is also a very dangerous phenomenon. The hailstones can be rather size. In Russia the largest size hail was observed in Rotovskaya district. Here, the registered weight of some hailstones was as large as 1800 grams. Imagine that a vessel filled with two liters of water drops down on your head from the 5 km altitude! The largest hailstones were observed in India. There some of the hailstones weighted up to 2200 grams. An elephant once experienced such hail. Even the elephant could not stand it and died in 3 days. Being sorry for the elephant, we cannot escape from imagining what would happen to crops, orchards, buildings, aircraft, and cars. All of them fell victims to this natural disaster.

The thunderstorms and hailstorms are very dangerous for *energy enterprises*. First of all they can put transformer substations out of action, and damage electricity transmission lines. As a result, consumers receive less energy than they need. For instance, in Orlovskaya district, which cannot be referred to as being a well developed region (in the sense of industry), various enterprises receive less than they need by about 400 mWh of energy a year. That can be considered as a "missed benefit".

As to *the communication services* the thunderstorms and hailstorms can put out of action relay stations, overhead communication lines, and antenna management.

The thunderstorms and hailstorms are dangerous for *all kind of transport*. For instance, any airport is practically always closed when there is thunderstorm activity. Hence aviation companies incur some losses.

The losses of *the motor transport* due to thunderstorm phenomena come from the speed decrease, and increase in the number of traffic accidents.

For *the railway transport* the thunderstorms and hailstorms are unfavorable phenomena because they cause damage of the contact wires, wash away the railway bed, and breach the normal working regime of cranes used for loading (or unloading) the cars.

For *the water transport* the thunderstorms are unfavorable phenomena because they can break communication, and, what is most dangerous, the lightning can hit vessels causing many undesirable consequences.

Municipal economy of any region also suffers from thunderstorm activity. First of all it will influence the overhead lines of communication and electricity transmission for street illumination and electrical transport. Besides, thunderstorms and associated downpours "inspect" the functioning of the run off canalization (sewerage) and possibly create obstructions, snowdrifts, and water flows on the roads.

For *forestry* any thunderstorm as the source of lightning can cause forest fires. Also strong squalls can fell the trees.

For *the building industry* a thunderstorm is a reason for the standing idle for both cranes and various kinds of work, and, as consequence, a "missed benefit".

Downpours, thunderstorms, and hail do not directly influence the human health. Perhaps, it is not the case when in *medical institutions* the amount of working activity increases. However, various kind unexpected problems can arise from time to time. It would be better if one is aware beforehand about these problems and gets prepared to cope with them.

In principle, we might continue to talk about the unfavorable weather conditions and their impacts on human life and activity. However, it seems to us that the readers are now prepared enough to do it without our assistance.

Economic losses

According to statistical data, the losses of all economic structures of Russia because of unfavorable weather conditions are \$20 billions a year. 60% of them are non-preventive losses. As to the other 40%, we may try to prevent them. To do this, we need not only correct specialized forecasts but also a competent decision-making process within organizations so that appropriate action is taken. If we ignore the forecasts, the losses will be doubled.

In Russia recent trends are toward the assessment of risks. In 2003 November, under the leadership of the President of the Russian Federation, a special government session devoted to this problem was held. Naturally, the problems of all kinds of risks were discussed including those of meteorological nature as they can be applied to existing, developing, and projected enterprises in various branches of the economy.

It is important although not very interesting

—According to the order №104 of 15.10.1999 issued by ROSHIDROMET the list of unfavorable and dangerous weather phenomena that result in large-scale economic losses and human death and injury is approved and introduced into action from 1.01.2001. This list includes phenomena specific for every economic region. The phenomena and the levels of their intensities indicated in the list depend upon the geographical position of the region, its economic potential, etc. There is no sense in providing any examples from the list. Simply, one must know that the appropriate order exists and allows us to estimate the losses that various natural phenomena can bring to one or another region.

7. AIR MASSES AND ATMOSPHERIC FRONTS

In this chapter we consider the classification of air masses and their properties, along with the origin of atmospheric fronts and the way they are classified.

Classification of air masses

As mentioned in a previous chapter, our Earth is covered with an air envelope known as the *atmosphere*. It is obvious that over the equator the air properties are not identical to those over the poles. Meteor-

ologists have agreed upon a division of the air envelope into various *air masses*.

An air mass is a huge body of tropospheric air possessing homogeneous properties in the horizontal and moving in a definite direction. The horizontal sizes of the air masses vary in the range from 500 to 4000 km, and their vertical extent can be from 2 to 10 km. It means that the air mass can cover a large part of a continent or an ocean. The main properties of the air masses are *temperature, humidity, static stability* and *visibility*. The secondary properties are cloudiness, precipitation, and some other phenomena. As follows from the air mass definition, the main properties do not vary much in the horizontal direction.

Air mass formation is influenced by the underlying surface over which the air mass is circulating for a rather long time. Consequently the air mass takes on typical values of temperature and humidity, both near the surface and in the upper levels, for that region. This means that the air mass acquires a definite vertical distribution of the air temperature and humidity which determines its static stability. Air masses are distinguished by their thermodynamic characteristics (main properties) or by their source regions.

The air mass moving into a colder environment, i.e. onto an underlying surface colder than the air, is called a *warm air mass*. The air mass moving onto an underlying surface warmer than the air is called a *cold air mass*.

The thermal effect of the underlying surface on the air mass results in significant changes to its thermal regime. It means that a warm air mass is cooled from below as it moves over a colder underlying surface, whereas a cold air mass is warmed from below as it moves over a warmer surface. This process will change the air mass lapse rate. The lapse rate will decrease in a warm air mass, and increase in a cold one. Hence, in these circumstances a warm air mass will become more stable (less unstable), while a cold one will become less stable (more unstable).

Depending on the lapse rate both a cold air mass and warm one can be stable or unstable. In addition they can be designated as humid or dry depending upon their water vapor content. Hence, according to their thermodynamic characteristics, the air masses can be classified in the following way.

- Warm, stable, and humid air mass.
- Warm, stable, and dry air mass.
- Cold, stable, and humid air mass.
- Cold, stable, and dry air mass.

- Warm, unstable, and humid air mass.
- Warm, unstable, and dry air mass.
- Cold, unstable, and humid air mass.
- Cold, unstable, and dry air mass.

Every type of the air masses has its inherent weather conditions. They are indicated in table 7.1.

Table 7.1.

Weather conditions in air masses of different types according to thermodynamic classification

Air mass type	Weather in summer	Weather in winter
Stable, warm and humid air mass	Hot, humid. Ac. As. Sometimes Ns and rain	Low clouds, drizzle, fogs. Thaw.
Stable, warm and dry air mass	Fair, hot weather	This air mass does not appear over Europe in winter
Stable, cold and humid air mass	Sc, chilly.	Moderate cold weather. Fogs, glaze, sleet, low clouds
Stable, cold and dry air mass	Cold, fair weather	Very cold, fair weather.
Unstable, warm and humid air mass	Convective phenomena: thunderstorms, squalls, hail, and tornado.	Shower type snow, snowstorms, gusty winds etc.
Unstable, warm and dry air mass	Gusty winds and dust storms.	Thaw Snow melting
Unstable, cold and humid air mass	Showers, Cb clouds	Snowstorms, gusty winds, and convective type clouds.
Unstable, cold and dry air mass	Cu hum, cold gusty winds and separated Sc. Chilly weather.	Fair weather with frosts and gusty cold winds.
<i>In this table weather conditions typical for the air masses are cited. However, in reality, they may deviate from those indicated in the table depending on the influence of local features and other synoptic object impacts.</i>		

The geographical classification divides air masses into four main types corresponding to the air mass source regions:

- Arctic (Antarctic) Air,
- Polar (Mid-latitude) Air,
- Tropical Air, and
- Equatorial Air.

Except for the Equatorial Air, each of the other three types can be of continental or maritime origin. Knowledge of the geographical position of the source region, the direction of movement, and the main characteristics of the air masses is very valuable for practical purposes. It suggests how to estimate and forecast the weather in every region.

Let us discuss the properties of the main types of the air mass entering Europe or forming over it.

Properties of different types of air mass

Maritime Arctic Air (MAA) enters Europe with NW or N winds blowing from Greenland and Spits Bergen. Passing over the open and warm waters of the Norwegian and North Seas, this air gets moister and warmer by contact with the sea surface. In this way the air becomes unstable and more humid. Near the shores of Northern Europe the MAA is always found to be an unstable air mass. In spite of this fact, it almost never produces thunderstorms. Over the deep continental part of Europe the weather in the MAA depends upon the season. In summer, moving over the warm continent, it becomes more unstable and becomes Continental Polar (Mid-latitude) Air (CPA). In winter the process is different. Moving over a cold, snow surface the MAA gets colder from the underlying surface (i.e. from below), and gradually it loses its unstable character and converts into a stable air mass. In spring and autumn its stability is variable. In daytime it is unstable, at night stable.

Continental Arctic Air (CAA) arrives over the European part of Russia (EPR) with NE winds (sometimes with N winds). In winter over the EPR this air remains dry and stable. The weather is cloudless (or small amount of clouds), and the air temperature is very low. Sometimes ice needles fall from this air, and over large towns and industrial factories frost hazes and ice fogs can arise.

In summer, the CAA warms from below and in this way becomes unstable. It also receives some moisture from the underlying surface. However, low temperature and, hence, small water content does not allow appreciable convective development. Therefore, only weak downpours and rare weak thunderstorms may occur in this air.

In spring and autumn over the EPR the CAA is statically unstable but not very humid. Very often precipitation from this air is found to be in the form of graupel or soft hail. The invasion of CAA causes early autumn and late spring frosts to appear, and also the lowest air temperatures in Europe.

Maritime Polar Air (MPA) forms in mid-latitude parts of the Atlantic and Pacific. In winter the cold continental air from Canada arrives after traveling over the comparably warm waters of the Atlantic Ocean, and, when moving to the east, it acquires maritime properties. Being warmed and moistened from below (from warm water), it becomes unstable and humid. That is why in the coastal regions of Western

Europe cumulonimbus clouds and shower type precipitation are observed as this air arrives. Moreover, winter thunderstorms are also possible, though to predict them is an extremely difficult task. As the MPA becomes unstable, strong gusty winds appear. Further movement of the MPA into the continent makes it lose its instability and become colder from below. Ultimately the air becomes stable and colder.

Over the European Part of Russia it is typically humid, stable air with low stratiform clouds, fogs or hazes, and drizzle or light snow. As it actively propagates to the east, thaws can be frequently observed up to the Ural region.

In summer, the MPA forms over the North Atlantic near Iceland. Here, the underlying surface is rather cold, and, therefore, this air is stable. As it moves eastward to Europe passing over the warm waters of the Gulf Stream, it is warmed from below. In this way it acquires instability and moisture. When this air approaches the coastal areas of Western Europe, it has already become unstable and humid. As a result, thunderstorms and downpours often accompany its arrival at coastal regions. When moving further into the continent, the amount of convective phenomena decreases in the MPA since the air has already lost most of its moisture and instability in the coastal areas.

Continental Polar Air (CPA) forms over the mid-latitudes of Europe, Asia, and America. Over Europe and Russia this air is considered to be a local air mass. The properties of the CPA depend upon the season of the year and the features of the region where this mass has formed.

In winter, usually, the CPA is a cold air mass, and in summer it is a warm one.

In a cold part of the year, low cloud accompanied by drizzle, and/or fog is typical for this air mass. In the warm part of the year, cumuliform clouds with afternoon downpours and thunderstorms are the usual phenomena.

Maritime Tropical Air (MTA) forms over tropical parts of oceans, and sometimes over the Mediterranean Sea. At the source region this air is stable, warm and humid. Moving over extratropical continents in winter, the MTA acquires huge zones of fogs, low cloud, drizzle, and glaze. In summer, being warmed from below, it becomes an unstable air mass. Even in a short distance from the coastal areas convective phenomena such as cumulonimbus clouds, thunderstorms, hail, squalls, and downpours actively develop in the MTA. In transition seasons the MTA is usually humid and stable. Only in the late spring or early autumn can it become unstable for a short time in the afternoon.

Continental Tropical Air (CTA) forms over tropical parts of continents and regions similar to the tropics in the warm period of year. To the territory of Russia such an air mass comes from Middle Asia, Kazakhstan, the lower Volga region, Nearest East, and Balkan Peninsula, and to Western Europe from Africa.

Due to strong heating from below this air is always unstable. However, the high temperature and low humidity does not allow clouds to develop in the summer. In winter the situation is different. In this period of the year low stratiform clouds, drizzle, and thick fogs can frequently be observed.

Equatorial Air has almost identical properties to those of the *Maritime Tropical Air*. That is why, at present, meteorologists in the tropics do not recognize it as an individual air mass.

It is interesting

—Any air mass is a mobile body. It moves northward, southward, or some other direction. It can transit from oceanic surface to land surface and vice versa. Whichever direction it moves its displacement results in variation of its properties that we call air mass transformation. Together with the change of temperature, humidity, and stability all other weather conditions change too. All these changes must be accounted for when forecasting the weather. Without accounting for the air mass transformation, all forecasts may turn out to be "more accurate than the real weather".

Origin of atmospheric fronts

The transition zone between two different air masses has been named a *frontal zone*. If this zone happens to be very narrow, it is called an *atmospheric front*. Any frontal zone is characterized by a sharp variation of meteorological parameters in the horizontal direction perpendicular to the front. The width of the transition zone near the ground surface is 50 – 100 km, and at upper levels 200 – 400 km. The thickness of the transition layer near the Earth's surface does not exceed 100 – 200 m, while at the upper levels it increases up to 500 – 1000 m. As compared with the sizes of the air masses, the thickness of the transition layer is very small. This allows us to approximate this layer by a surface called a *frontal surface*. The intersection of the frontal surface with some other surface makes a line that is named a *front (front line)*. Sometimes the frontal surface, for the sake of shortness, is also called a *front (or atmospheric front)*. The length of the frontal surface in the horizontal direction perpendicular to the front line is 600 – 1000 km, and along the frontal line it corresponds to the horizontal size of the air mass (i.e. about 5000 km or so). In the vertical the at-

atmospheric fronts can be traced up to 5–6 km. The frontal surface is inclined to the ground surface at a very small angle and in such a way that it forms a sort of wedge of cold air. Thus, in a frontal zone the cold air is always found to be below of the warm air. Because of the small width of the frontal zone it is denoted on the weather map by a line (see the term *frontal line* defined earlier)

As stated above, in the frontal zones a sharp variation of the meteorological parameter values takes place. That is why the interaction of the air masses in the frontal zones is responsible for the formation of clouds, precipitation, and other phenomena. This fact makes forecasters be extremely careful when analyzing weather maps and locating the positions of atmospheric fronts.

So, any atmospheric front is a divider of two air masses with different properties. Usually the differences in temperature and humidity are the best way of identifying these fronts. According to statistical data, the temperature jump between two air masses near the earth surface is 5°C or more, and at the upper levels it changes by 8°C or more per 1000 km.

From the equation of state it follows that the warm air density (ρ_w) is less than the cold air density (ρ_c), i.e. $\rho_w < \rho_c$. Suppose that in the initial stage the frontal surface is vertical (see figure 7.1a). Then, in principal, the heavier cold air would have to expel upward the lighter warm air (see figure 7.1b).

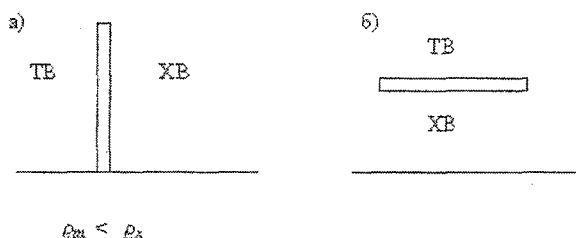


Figure 7.1. Position of the divider between two air masses.
a – initial; b – ultimate (theoretical).

In fact such expelling of the warm air, as it is shown in figure 7.1, never occurs. The frontal surface is always inclined under a very small angle to the horizon as it is shown in figure 7.2.

In reality, the atmospheric pressure under the first air column is less than under the second, and under the second is less than under the third. The pressure distribution can be explained by the fact that

the height of the cold part of the column at the third position is larger than at the second position, and at the first one. Hence, the third column is heavier than the second and the second is heavier than the first. If so, a pressure gradient force arises, and it is directed toward the lowest pressure. The pressure gradient force causes the air movement. As soon as the movement ap-

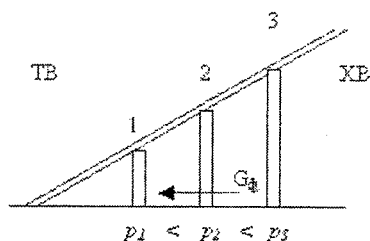


Figure 7.2. Actual position of the frontal surface. G_p represents the pressure gradient in the frontal zone.

pears, the Coriolis force arises too. As a result, the airflow is directed along the surface front line. This flow keeps the frontal surface in the inclined position. The angle of the frontal surface inclination (α) depends upon the properties of the air masses divided by the front. The angle can be determined from the formula

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\omega \sin \varphi V_1 T_2 - V_2 T_1}{g(T_2 - T_1)}$$

where V_1 and V_2 represent the wind speed in the cold and warm air mass respectively, and T_1 and T_2 are the corresponding air temperatures. $\omega = 7,29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ is the angular velocity of the Earth, and g is the gravity acceleration.

Inclination of the frontal surface is rather small and has values of $1/300 - 1/50$. The average inclination of the warm front is $1/100$, and that of the cold front $1/50 - 1/75$. The faster the front, the steeper the tilt of the frontal surface.

Figure 7.2 allows us to make one more interesting conclusion: *any atmospheric front is always found in a pressure trough*. As we look at figure 7.2, we see that the pressure decreases toward the frontal line (see reasoning above), where the cold air is practically absent. Hence, here the pressure is smaller than in any other part of the frontal zone, and the front is found in a pressure trough. From this reasoning it also follows that, as a rule, the trough is better defined on the cold side of the front. This explanation seems to be simple and understandable. However the reason given above is not the only one which explains why the front is found in a pressure trough. There are some others. We do not exhibit them here because to understand the ex-

planation based on these reasons, one must be equipped with a good deal of fundamental knowledge of the physics of the atmosphere.

One more point needs to be taken up. If at the Earth's surface the pressure in both (warm and cold) air masses is the same, at some altitude above the surface the pressure in the warm air will be higher than in the cold air. The reason is that the warm air is lighter than the cold one and, therefore, when ascending up to the same altitude, the pressure in the warm air will decrease at a smaller rate. Hence, at this level airflow will arise from the warm air side toward the cold air side. Doing so, the atmosphere tries to equalize the pressure distribution. This process results in the frontal surface inclining in such a way that the warm air appears to be above the cold air (see figure 7.2).

At the beginning the temperature gradients forming a frontal zone arise under the influence of the existing pressure field. In figure 7.3 a conditional pressure field is cited. The isotherms are situated under a small angle with dilatation axis (axis X). The airflow is directed in such a way that it brings the isotherms closer together, i.e. the temperature gradient increases and frontal zone forms with respect to the contraction axis (axis Y).

In nature this process is significantly more complicated although the main principles remain the same. Theoretically, any frontal partition between two different air masses must go around the Earth having ridges of warmth over some regions and troughs of cold over other regions. In fact, one cannot see it on the weather map because of the air mass transformation and different underlying surfaces, and sometimes, because of poor weather map analysis. To become a competent forecaster (weather map analyzer), one must carry through his (her) responsibilities for a period of 3–5 years. After such experience the forecaster will be able to notice all mistakes in the weather map analysis and correct them.

Now is the right time to mention one more very important point. That is that *the atmospheric front always changes its sign when crossing a ridgeline*. The explanation is obvious from figure 7.4, where the pressure field and frontal line are exhibited. To the left of the ridgeline the airflow is directed in such a way that the warm air is moving to-

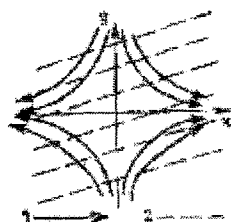


Figure 7.3. Explanation of the frontal zone formation.

1 represents streamlines,
2 represents isotherms.

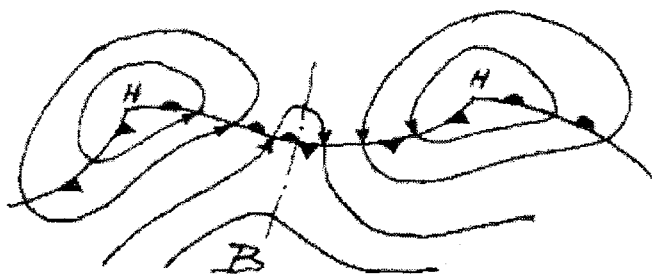


Figure 7.4. Determination of the point, where atmospheric front changes its sign.

ward the cold air, i.e. this part of the front represents a *warm front*. To the right of the ridgeline the situation is reversed. Here the airflow makes the cold air move toward the warm air, i.e. this part of the front becomes a *cold front*. Hence, the front changes its sign at the crossing with the ridgeline.

Classification of fronts

Atmospheric fronts are categorized according to a number of indicators (evidences).

According to geographical position the fronts can be classified as being

- Arctic front,
- Polar front, and
- Tropical front (intertropical convergence zone).

According to horizontal and vertical extensions the fronts can be classified as being

- Principal front,
- Secondary front (instability or squall lines), and
- Upper front.

According to movement, structure, and weather conditions the fronts can be classified as being

- Warm front,
- Cold front (first and second kind),
- Neutral front, and
- Stationary front.

According to air mass interaction in the frontal zone the fronts can be classified as being

- Ordinary front (warm or cold), and
- Occluded front.

According to stage of development the fronts can be classified as being

- Sharp front,
- Weak front,
- Sharpening front,
- Weakening front, and
- Masked front.

Main characteristics of warm fronts

Slope	1:100 to 1:300, with a steeper slope for more active fronts. Average 1:200. This means that at an altitude 1 km the frontal surface is found at about 200 km ahead of the surface front (hereafter referred to as the front).
Cloud	Increasing amounts of upper cloud, which thickens and lowers with approach of the front. Leading edge of upper clouds is about 800 km ahead of the front.
Weather	Slight rain approximately 200–400 km ahead of the surface front becomes moderate close to the front, and ceases after its passage. Scattered outbreaks of slight rain or drizzle may occur in the warm sector. The width of the precipitation zone in winter is larger than in summer by 50–100 km.
Temperature	May rise on passage of the front, but not necessarily as rain depresses the temperature.
Dew point	Starts to rise ahead of the front, and levels off during its passage.
Visibility	Good ahead of the front, becoming moderate in precipitation, occasionally poor in the warm sector.
Pressure	Falls increasingly as the front approaches. Generally becomes steady in the warm sector, but continues to fall if the depression is deepening.
Surface wind	Tends to back and increase ahead of the front, and veers as the front passes.
Upper winds	Veer with height ahead of the surface front.
Movement:	Over sea about 80% of the wind speed at the 500 hPa level. Over land about 70%.

Main characteristics of the cold fronts

Slope	1:30 to 1:100, with a steeper slope for more active fronts. Average 1:75.
Cloud	In a slow moving cold front the cloudiness is the mirror image of what happens at a warm front. Some active cold fronts have occasional embedded cumulonimbus, and some are composed principally of convective cloud, though this tends to be more a feature of the fast moving cold fronts. Cloud becomes convective and well-broken behind the front.
Weather	A fairly narrow band of rain around the surface frontal position, with some heavy, especially on the front. Risk of hail and thunder if cumulonimbus is present.
Temperature	Usually falls, but may rise due to insolation in clearer air behind the front.
Dew point	Falls on passage of the front.
Visibility	Moderate in precipitation, improving rapidly to good or excellent behind the front.
Pressure	Falls as the front approaches, rising quickly on and behind the front
Surface wind	Backs slightly ahead of the front. Veers sharply on passage of the front.
Upper winds	Back with height behind the surface front.
Movement:	The rate of movement is about 90–95 % of the wind speed at the 500 hPa level.

Occlusion front

A front which develops during the later stages of the life cycle of a frontal depression is called occlusion front. The term arises from the associated occluding (shutting off) of the warm air from the earth's surface. As the faster moving cold front closes in on the warm front, the warm sector is thus reduced to a trough line called the line of occlusion. The trough line is marked by a belt of cloud and precipitation and by a wind shift. In those cases where there is substantial temperature difference between the cold air mass in advance of the warm front and that behind of the cold front a *warm occlusion* (less cold air behind) or a *cold occlusion* (more cold air behind) forms. The effect is to extend the cloud and precipitation well in advance of the surface occlusion in the former case, and behind the occlusion in the latter case. In Russia the warm occlusion is more common in winter, and the cold one in summer.

Some other remarks

All other characteristics of the fronts are thoroughly studied in the discipline *Synoptic Meteorology*. In this book we'll restrict ourselves to a few remarks. The cold fronts are sharpened by the daytime heating of the underlying surface due to insolation. The heating re-

sults in instability increase and, consequently, in cloud development and increased precipitation intensity.

Contrary, the warm fronts are sharpened during the nighttime and weakened during the daytime. At night the upper part of the warm front cloudiness cools down due to long wavelength radiation from the cloud top. Consequently, the lapse rate inside of the cloud mass increases and as a result embedded convection develops. This facilitates further cloud development and increased precipitation intensity.

As atmospheric fronts are always found in pressure troughs, both at sea level and upper levels, the wind turns clockwise with height in the warm front zone, and counterclockwise in the cold front zone (see figure 7.5).

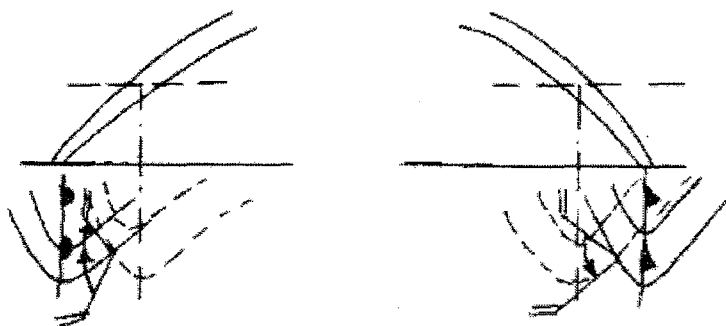


Figure 7.5. Explanation of the wind direction variation with height in frontal zones. a) Warm front; b) Cold front.

——— - Isobars at the sea level

----- - Isobars at an upper level.

It is worth noting one more feature of the warm front. In winter the precipitation zone of the front is wider by about 100 km than in summer. The reason is that in winter snowflakes falling from nimbostratus clouds associated with the front at a distance of 300 – 400 km from the surface front do not melt and reach the ground. In summer falling crystals are melted to become drops that evaporate in the air and so they do not reach the ground.

The "worst" and the most unfavorable weather is always observed within the frontal zones. Here it is usually overcast with very low clouds, heavy precipitation, and strong, gusty winds. The cloud systems associated with atmospheric fronts will be discussed in the following chapter.

8. CLOUDS, FORMATION AND CLASSIFICATION

In this chapter we consider how clouds are formed and classified, with particular emphasis placed on describing the ten basic cloud types.

Formation of clouds

A visible conglomerate of suspended droplets and ice crystals above the Earth's surface is called *cloud*. Clouds only form when the air in a given region and altitude becomes saturated. The main reason for the air to become saturated is its cooling due to the ascent of the air. The air ascent and cloud formation goes on due to irregularity of relief, convection, wave motion, airflow over frontal wedges, and wind convergence. The last two reasons are responsible for so-called ordered ascending motion.

Relief irregularity leads to a forced ascent of huge masses of air. When ascending some kind of wave motion in the air arises together with air cooling. The *wave motion* can be spread up to the high levels.

It is interesting

—Perhaps the readers are familiar with the waves on various water surfaces. The same kind of waves can exist in the airflows although one cannot see them. When the air is moving, the airflow is not horizontal. It is alternately ascending and descending (that is the real wave). When ascending, the air is cooling and can reach the saturation state that will result in cloud formation. That is why we can see in the sky the bands and rows of clouds that alternate with cloudless breaks. When this takes place, the wind direction is perpendicular to the cloud bands. Looking to the band orientation, one can easily determine the wind direction at the upper levels without any measurements and synoptic charts. In order not to make a mistake (by 180°) in determining the wind direction, one must watch for a while the cloud band displacement.

Convection is a random ascending motion of isolated volumes of air (parcels or bubbles) that appears due to either non-homogeneous underlying surface heating (thermal convection), or some special character of the wind field. The thermal convection results in development of thick clouds (*cumulonimbus*) which are responsible for heavy precipitation and thunderstorms.

The *wave motion* we have mentioned above is caused not only by the relief irregularities but also by interaction of contrasting air masses having different properties such as wind, temperature, humidity, and stability. The wave motion develops at the separating surface. In the wave ridges the air ascends and air temperature falls making

the air become saturated. Then water vapor condensation occurs and this produces the undulating cloudiness. In the wave troughs, where the air descends, the clouds do not form. Here we observe cloudless breaks.

The *ordered ascending motion of the air* takes place at fronts and in the areas of wind convergence. At a front the warm air ascends over a wedge of cold air. When ascending, the air is cooled and ultimately becomes saturated. Huge masses of air are involved in this ascent. Near the front line the air ascends directly from the Earth's surface. As one moves away from the front line, the ascending motions start from upper levels. The rate of ascent is not homogeneous at different parts of the front and different altitudes. This results in formation of multilevel cloudiness and layering of the cloud masses.

Cloud classification

At present, to identify clouds, the *International Cloud Classification* is used. According to formation conditions and visual appearance of the cloud bottoms, the clouds are divided into three classes: *cumuliform, undulatiform, and stratiform clouds*.

Cumuliform clouds are separated cloud masses growing upwards when developing, and spreading horizontally when decaying.

Undulatiform clouds are horizontally widespread clouds in the forms of rows, plates, and scales (like cotton-balls).

Stratiform clouds are continuous cloud masses over a large area.

Depending on the altitude of the cloud bottom, all clouds are divided into four classes. Each of the classes, in turn, includes a number of cloud types. All together clouds are categorized into ten basic types.

Low level clouds

Low level clouds (the lowest clouds) are those with bases no higher than 2000 m. They include *stratocumulus, stratus* and *nimbostratus* clouds.

Stratocumulus clouds (Sc) are gray clouds in the form of large wave-like bands or flocks separated by cloudless breaks. The thickness of these clouds is 200 – 800 m. As a rule, they do not give precipitation. In some rare cases short duration drizzle can occur in the cold part of the year.

Stratus clouds (St), as they are seen from the Earth, look like a homogeneous layer which is gray in color. These clouds resemble a fog lifted from the surface. The thickness of stratus clouds can vary from 200 to 800 m and their base is 50 to 500 m above the ground. Usually, these clouds cover the sky with a homogeneous gray shroud.

They may precipitate with drizzle, and, in winter, with powdery snow, or small granular snow. Stratus clouds can occupy large areas (for instance, the whole European Part of Russia) and persist for weeks depriving people of the sunlight and aviation of fair weather.

Nimbostratus clouds (Ns) are thick, gray clouds giving a gloomy appearance. These clouds are responsible for widespread precipitation (rain and snow). When precipitating, they seem to be homogeneous, although in reality it isn't so. The base (lower boundary) of nimbostratus is almost always not very distinct. It can be situated as low as 100 m, while the upper boundary as high as 8 km. However, the upper boundary is usually found between 5 and 5,5 km. The main reason for nimbostratus formation is the air cooling due to it ascending over sloping frontal surfaces. The micro — physical structure of these clouds includes supercooled water droplets and ice crystals in the upper part, and larger water drops or snowflakes in the lower part. Nimbostratus is usually not a separate cloud mass. It is a part of the system known as an *altostratus—nimbostratus cloud system*.

Middle level clouds

Middle level clouds are situated in the layer from 2000 m to 6000 m. They include *altocumulus* and *altostratus clouds*.

Altocumulus clouds (Ac) are wave-like clouds. Their cloud base is higher than 2000 m. They consist of small water droplets. In visual appearance they are white, sometimes light gray, and the clouds can be in the form of plates or flocks. In general no precipitation falls from these clouds. However, in winter, some tiny snowflakes can fall though not very often. The thickness of altocumulus does not exceed 700 m.

Altostratus clouds (As) arise, as a rule, on atmospheric fronts, especially on warm ones. These clouds appear as a gray, sometimes livid, homogeneous shroud, from which weak widespread precipitation can fall. Their thickness is 1000 — 2000 m. In summer they consist of liquid water drops, and at their top supercooled droplets and ice crystals can be found; in winter the clouds consist mainly of supercooled droplets and ice crystals.

High level clouds

If the cloud bottom is found at an altitude more than 6000 m, it is referred to a high level cloud. The family of these clouds includes *cirrus*, *cirrocumulus*, and *cirrostratus*. Precipitation never falls from these clouds.

Cirrus clouds (Ci) are separate, white, fibrous clouds. Usually they are very thin and transparent. They consist of only ice crystals, have

well defined fibrous structure, and never completely cover the sky. Mostly *cirrus* clouds are situated at an altitude of 7–8 km, and their thickness does not exceed 1000 m.

Cirrocumulus clouds (*Cc*) are the product of wave-like air motion in the upper troposphere. They are white, very thin (<500 m) clouds consisting of very small waves, flocks, and ripples.

Cirrostratus clouds (*Cs*) appear as a thin (<1000 m) shroud that can cover the whole sky. These clouds consist of ice crystals.

It is interesting.

—Perhaps everybody has seen the condensation trails after airplanes flying at high altitudes. The visual appearance of these trails resembles cirrocumuli. The trails result from condensation of the water vapor contained in the gases exhausted from the airplane engines.

—High relative humidity and low air temperature at the flight altitude are favorable conditions for water vapor condensation, i.e. the condensation trails formation.

—The period for which the trails remain can serve as an indirect evidence of cloudiness evolution. If the trail behind the airplane is retained for 10 minutes or more and becomes denser, we can expect cirrus clouds to form at the trail altitude in about 6 hours. If cloudiness already exists, it will become denser. If the trail has disappeared in less than 10 minutes, it means that the cirrus clouds will not form in the next 6 hours, and existing cirrus clouds will disappear.

—It is obvious that the forecaster will not attempt to determine the trail behavior with a watch in his hand. There is another way to do it. If the trail has "striked through" the sky from "horizon to horizon" and hasn't disappeared after the airplane flew by, one can assume that the trail has been retained more than 10 minutes. Besides, the trail behind the airplane can be used for qualitative determination of the wind velocity at the flight altitude (from the visual displacement of the trail).

—Military forecasters were the first to work out techniques to forecast the condensation trails since the trail was a good way of identifying flying aircraft.

—The character of the trail can serve as a good predictor when no other meteorological information is available. Suppose that a trail is retained for more than 10 minutes. It means that the cloudiness will increase. We know that the cirrus clouds are a forerunner of the warm front, and that they occur about 600 km ahead of the front. The average rate of the frontal displacement is about 30 km/h. Hence, one may expect that in about 10 hours precipitation will start falling, and in about 20 hours the air temperature will commence rising. If the trail moves northward, it means that southerlies prevail over the whole of the troposphere. Therefore, the cooling is not likely to occur soon. If the forecaster is familiar with the local fea-

tures of the region, a quite reliable forecast can be made on the basis of a single condensation trail.

Heap clouds

The last class of cloudiness is deals with clouds with appreciable vertical development. They start developing at a low altitude (less than 2000 m) and spread up to significant heights, sometimes up to the tropopause. This class includes *cumulus* and *cumulonimbus* clouds.

Cumulus clouds (Cu) are the initial stage of chimney cloud formation. Usually, these clouds arise over land in the warm period of the year. They are initiated in the morning. In the afternoon they reach the maximum development, and in the evening they decay. Cumulus clouds are well developed in the vertical. The bulging upper parts often resemble a cauliflower, and their bottoms are flat. These clouds consist of water droplets and never precipitate.

Depending on local conditions and the air mass properties, cumulus clouds can be either in the form of separate clouds or in cloud clusters. The lower boundary of these clouds is found at the altitude of 600 – 1500 m, and their vertical extent can reach a few kilometers.

Cumulus clouds, in turn, are divided into *cumulus humilis* (Cu hum), *cumulus mediocris* (Cu med), and *cumulus congestus* (Cu cong).

It is interesting

—There is a folk's believe that if at the end of a winter cumuliform clouds appeared on the sky, it means that, at last, the spring has come. The old Greek used to say "The God PAN has woken up!"

Cumulonimbus clouds (Cb) present by themselves the highest stage of convective development. In certain conditions cumulonimbus clouds can develop up to very high altitude (10 – 11 km in moderate latitudes and 15 – 16 km in tropics). In the upper part of these clouds both supercooled water droplets and ice crystals are found. Due to the distillation process the ice crystals grow at the expense of water droplets evaporating. When the ice crystals become large enough, the vertical motion cannot keep them floating, and the crystals start falling. On the way down to the ground the crystals melt and are converted into heavy rain. That is why the raindrops seem to us to be colder than the air, and they are really colder.

It is interesting

—Updraft speed in cumulonimbus ("Cb") clouds can reach very large values. Some cases are known when the speed was as large as 50 m/s (180 km/h). As to the downdrafts, their speed can be also very impres-

sive, up to 35 m/s (125 km/h). Imagine a tube of 10 km diameter (that is the horizontal size of a "Cb" cloud), within which the air flow goes up with the speed almost equal to 200 km/h, and down 120 km/h. That is something, isn't it? What energy one can find in the atmosphere!

Thunderstorms, squalls, hail, and some other dangerous phenomena are related to cumulonimbus clouds. Above we have already discussed the "problems" associated with these clouds. There is no doubt that at the professional level one can say much more about the clouds. Hundreds of papers, and even books, are written about every type of cloud. All these are justified by the importance of the impact of clouds on human life and activities. Readers may find more detailed information on clouds in various specialist publications. However we believe that for general "acquaintance" with the cloudiness in the atmosphere the information given in this chapter will be sufficient.

9. PRECIPITATION, FORMATION AND CLASSIFICATION

In this chapter we consider the types of precipitation that occur (i.e. drizzle, rain, snow, graupel and hail) and their extent and intensity.

Types of precipitation particles

Water drops and ice crystals falling from the atmosphere to the Earth's surface are called *precipitation*. The necessary condition for precipitation formation is the enlargement of the cloud elements up to the size which allows them to overcome air resistance and upward motion within the cloud, and thereby fall from the cloud (cloud droplets and soap bubbles were discussed previously). The reasons for the droplet enlargement are water vapor condensation (sublimation) and droplet coagulation. Eddy mixing, which is better developed in clouds (especially in heap clouds) than in the clear air, results in the faster growth of the cloud droplets and ice crystals. Thus, the eddy mixing, condensation, and coagulation are the factors allowing droplets to reach the largest possible sizes. There are many types of precipitation.

Drizzle is precipitation consisting of very small droplets (radius the droplets $< 0,25$ mm). The droplet falling trajectories are not directed strictly downward. They float in the air and gradually descend. The drizzle is believed to precipitate from stratus clouds and rarely from stratocumulus. It also can appear when fog dispersal takes place. When the air temperature is less than 0°C , the drizzle droplets can be supercooled (i.e. their temperature becomes negative). The drizzle intensity does not exceed $0,2 - 0,3$ mm/h, and the droplet fall speed fluctuates between $0,3$ and 2 m/s.

Rain is liquid precipitation consisting of droplets which are larger than those in drizzle. The largest drops have a radius of 3,2 mm. The rain drop falling speed is usually 4 – 8 m/s, and the largest drops fall with a speed of 10 m/s. If the radius of drops becomes larger than 3,2 mm, the falling drops are flattened, and then they break up into smaller droplets. In the cold part of the year the raindrops can be supercooled. In this case a glaze can appear on cold surfaces, wires and tree branches. The rain can fall out from *nimbostratus*, *cumulonimbus*, and sometimes even from *altostratus clouds*. The rain intensity is significantly larger than that of drizzle. The intensity depends on the type of cloud producing the rain. The rain with largest intensity falls from cumulonimbus clouds. In this case the intensity can reach 10 mm/h. For instance, in S.Petersburg the mean monthly rainfall is 40 – 50 mm. Hence, one such "good" rainfall can pour on the Earth's surface almost the average monthly amount of water.

Snow is precipitation in the form of snowflakes of various shapes and sizes. The simplest shapes are needles, stylus, plates and stars. The snowflake are usually not larger than 4 – 5 mm. When the air temperature is above 0°C the snowflakes stick together to make the larger sized flakes. The average size of snowflakes is about 4 mm, while in some cases they can be as large as 15 – 20 mm! The snow falls from the same types of cloud as rain. The heaviest snow falls from cumulonimbus clouds and these clouds also produce the largest snowflakes. However, the largest snowflakes can only form if the wind speed does not exceed 2 – 4 m/s. The rate of fall of snowflakes is less than that of the raindrops. It is about 3 – 5 m/s.

In some cases precipitation can be a mixture of snow and rain, or melting snow. This type of precipitation is called *sleet*.

It is interesting

—In the northern regions of Russia the heavy, shower type snowfall is called "flurry of snow". Snowfall of this kind really resembles "a flurry". It springs up unexpectedly, lasts a short time, makes visibility very poor, instantly covers roads and runways of airports, and disappears. Not waiting for the end of the flurry, a special snow-removal service starts dealing with the consequences of this natural calamity. These flurries of snow occur frequently in transition periods of the year, and especially in the springtime.

Graupel is a type of precipitation consisting of ice particles or snow grains. Radii of these particles vary from 0,1 to 8 mm. The graupel forms as a result of the freezing of supercooled water droplets in the

cold air or freezing of water droplets onto snowflakes (snowflake grain-ing). Depending on the ratio between snow and other ice particles, this type of precipitation is subdivided into snow grains and ice graupel. The latter is often confused with some sort of hail. Usually graupel forms in clouds with vertical development, its rate of falling is 10–20 m/s, and it only lasts a short time.

Hail is a form of precipitation that is considered to be the most dangerous in all aspects. Hail falls from cumulonimbus clouds. The size of hailstones ranges from a few millimeters to a few centimeters. Some cases are known when the weight of individual hailstones exceeded 2 kg. The rate of hail falling, to some extent, depends upon the hailstone size. The average rate of the falling is about 20 m/s, and the maximum rate (regardless of the size) does not exceed 50 m/s. The duration of the hail fall is not long; it lasts 5–15 minutes. However, that short period is sufficient for the hail to cause much damage so that later on one will remember those minutes for a long time.

There is also so-called surface precipitation: dew, hoarfrost, rime, solid and liquid deposits.

Intensity and extent of precipitation

Depending on the physical conditions of formation, precipitation can be divided into three groups: *widespread, downpour (shower), and drizzle precipitation*.

Widespread precipitation is long lasting (that is why it is also called continuous) rain, snow or sleet observed over a vast area (that is why it is called widespread). Widespread precipitation falls from nimbostratus and altostratus clouds.

Downpour (shower) precipitation falls from cumulonimbus clouds in the form of rain, snow, or hail. Usually, the precipitation is very heavy. Showers start suddenly and cease just as quickly, and their intensity can vary rapidly. The showers are often accompanied by thunder, squalls, or simply by some increase in wind. From the philistine's point of view any umbrella cannot protect a person from the shower rain.

Drizzle falls from dense stratus and stratocumulus clouds that are formed in a stable air mass. It consists of very small water droplets or ice crystals. The most significant problems caused by drizzle are poor visibility and "dank" weather.

It is interesting

—In the middle of the last century scientists determined that rainfall (or snowfall) significantly exceeded the water store in the precipitating clouds. This means that, when moving, the cloud actively replen-

ishes its water store from the environmental air. The average ratio of the precipitated water to the water stored in the cloud is about 20, and the ratio of the precipitating cloud system to the area of the surface the precipitation has fallen on is about 2. These figures suggest that the whole mass of water in the cloud is renewed every 3 hours.

10. ORGANIZATION OF METEOROLOGICAL OBSERVATIONS AND ROSHYDROMET STRUCTURE

In this chapter we consider why observations are required and their characteristics, and the role and structure of ROSHYDROMET.

Observational requirements

To make any forecast or storm warning, the forecaster first needs initial information about the current weather. Knowing the current and past weather, the forecaster can try to foresee what kind of weather would be likely in the future, i.e. he (she) can forecast the weather. In other words, knowing what kind of weather **is** and what weather **was**, the forecaster determines what weather **will be**. In addition to knowledge of meteorological processes, he (she) must take account of the geographical position of the region for which the forecast is being, the time of day and year, and many other things. All these require the forecaster to be competent in various aspects of the science. Without this knowledge it is impossible to make an accurate forecast. The forecaster applies this knowledge when analyzing the current synoptic situation. The analysis always precedes the weather forecasting procedure. The basis of such analysis is included into some special disciplines that are studied in RSHMU and some other educational institutions.

It is interesting

—Let us introduce some important definitions. A "weather forecast" is the scientifically justified expectation of weather conditions. A "storm warning" is a forecast of dangerous weather phenomenon. A "storm notification" is the provision of information about an existing dangerous phenomenon.

—As to the definition of a weather forecast, everything is more or less clear. The situation with regard to the definitions of storm warnings and storm notifications is quite different. Sometimes confusion may occur. The main difference between warning and notification is that the first one is the forecast of the phenomenon, which is expected to occur (at the moment it does not exist), and the second one is the information on the phenomenon, which is already taking place. In other words, if you forecast that "the stones from the sky" will fall, that is a storm warning; if you inform that "the stones from the sky" are already

falling, that is a storm notification. There is one more difference between these two notions. A storm warning is a forecast. The responsibility for the accuracy of the forecast falls to the forecaster. However, responsibility for the storm notification falls to the observer, who must provide timely information about the occurrence of this dangerous phenomenon.

To prepare a weather forecast, meteorological observations are needed. The totality of such data is known as *primary meteorological information*. This information has to be brought together in a form suitable for weather forecasting. The information in this new form is called *secondary information*. A weather map serves as an example of primary information being transformed into secondary information. The collected meteorological observations constitute the primary information. After plotting them on a geographical map (that is a sort of processing the data) we get a weather map that can be considered as the secondary information and used to predict the weather.

The accuracy, completeness, and timeliness of the primary information determine its effectiveness. At present, the vast amount of primary information includes the following parameters: atmospheric pressure and its temporal variations, air temperature and humidity, underlying surface temperature, wind speed and direction, cloudiness (amount, form, and altitude of the cloud base), weather phenomena (precipitation, fog, thunderstorm, etc), and visibility range. In some cases primary information can include rate of vertical motion, chemical composition of the air, and degree of air pollution.

The importance of one parameter or another is different for different users of the meteorological information.

Based on a consideration of the way data are processed and analyzed and the requirements of the forecasting process, the following requirements are imposed upon the primary information: *completeness, three-dimensional character, global embrace, regularity, responsiveness and synchronism*.

- *Completeness* of the primary information means that all meteorological parameters and phenomena must be included in the meteorological messages.
- *Three-dimensional character* of the primary information means that the set of data must contain not only surface but also upper-air data up to the highest possible altitudes.
- *Global embrace* of the primary information means that the set of the data must cover an area that exceeds that for which the weather forecast is to be made. For instance, to make a forecast for S. Petersburg with 24-hour lead-time, the data from an area

of 30003000 km² are needed.

- *Regularity* of the primary information means that the observations are made at the right time and are complete (without any omissions).
- *Responsiveness* of the primary information means quick and timely arrival of the information to the users. If the information does not arrive in good time, it loses its validity (fast enough is good enough).
- *Synchronism* of the primary information means that all the observations are made at the same time.

All meteorological stations included in the international network make observations at the same time: 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, and 21 GMT. The times 00, 06, 12, and 18 are the *main hours*, and the others are the *additional hours*. At upper-level stations the observations (soundings) are carried out four times a day at 00, 06, 12, and 18 GMT, the times 00 and 12 are the *main hours*, and 06 and 18 are the *additional hours*.

In this way all surface and upper-level stations of the international network produce observations and supply users with the required primary meteorological information.

Role and structure of ROSHYDROMET

In Russia various branches of ROSHYDROMET provide hydrological and meteorological services. The ROSHYDROMET is a Federal Service under direct supervision of the Prime Minister of the Russian Government.

The main task of ROSHYDROMET is to provide the population and various branches of the economy with meteorological information, i.e. with weather forecasts of various kinds and for various ranges. That is a very important and responsible function since the weather is of great interest for everyone. ROSHYDROMET includes a number of Regional Administrations for Hydrology, Meteorology and Monitoring of the Environment (RAHMS). These Administrations perform direct servicing at a regional level. At present, there are 24 such RAHMS. In the structure of every RAHMS there is a *Hydrometcenter* that provides all consumers in its region with operational information. In addition, RAHMS includes its own aviation meteorological service and some other services such as those for the railways and the military. Here we'll not go into details about these services.

The ROSHYDROMET organization also includes a number of operational and research institutions. Their responsibility is to sup-

port and perform all activities related to weather watch. Among these institutions are *Hydrometcenter of Russia* ("the brain of the meteorological service"), *Arctic and Antarctic Research Institute*, *Main Geophysical Observatory*, *Central Aerological Observatory*, *the Russian Research Institute of Hydrological and Meteorological Information* (World Data Center), *Institute of Applied Geophysics*, *Institute of Experimental Meteorology*, and many *Regional Research Institutions*.

All technical work related to collecting and transmitting meteorological information falls on various communication centers existing at every Regional Administration. The structure of these centers will be discussed in the next chapter.

11. REMOTE MEASUREMENT OF METEOROLOGICAL PARAMETERS

In this chapter we consider the remote meteorological measurements using automated surface observations, conventional upper-air soundings, and radar and satellite soundings.

Automated surface observations and conventional upper air soundings

At present, almost all meteorological parameters can be measured with the aid of remote sensing. It means that the observer does not need to approach the measuring device. It is sufficient to place the sensors at the required place and to put the registering equipment inside a station. Moreover, some of the parameters can be measured with remote techniques only (for instance, the wind in the free atmosphere).

It is interesting

—At some airports there are situation when information about weather conditions must be brought up to date every 2 minutes. This means that an observer would have to go to the meteorological shelter 30 times an hour! That is something! In this case one cannot dispense with remote measurements.

To make remote observations there are some special instruments and even whole systems. So, at our airports the system CRAMS (Complex Radio-engineering Automated Meteorological Station) with various modifications is widely used. Now a new system AMIMS (Automated Meteorological Informational Measuring System) has been developed to replace the CRAMS.

Remote measurement of various parameters in the free atmosphere with ascending instruments is called *sounding the atmosphere*.

There are wind soundings and temperature wind soundings.

- A wind sounding provides wind speed and direction measured with a pilot balloon.
- A temperature – wind sounding (or composite sounding) provides air temperature and humidity, and wind speed and direction at various altitudes measured with a radiosonde.

Besides, there are aircraft soundings (with instrument installed on an aircraft), tethered balloons, rockets, radars, and satellite soundings. The upper-wind soundings with pilot balloons and composite soundings with radiosondes have gained the widest acceptance around the world. At present, radar and satellite soundings are also widely used.

Wind sounding. At upper-air stations and airports the pilot balloon observations are carried out routinely every day. These observations provide the wind speed and direction at various altitudes. The essence of this technique consists of the following procedure. The observer, being at the surface, fills up the balloon with hydrogen (like small balloons for children) and determines the balloon vertical speed from special tables. Then he (she) launches the balloon and watches it through an optical theodolite. The balloon flies upward whilst drifting in the wind. From the azimuth and elevation angles obtained with a theodolite one can determine wind speed and direction at various altitudes. That is the simplest and cheapest method to obtain upper-air observations. Usually, the vertical speed of the balloon is approximately 200 m/min, and the balloon is able to reach an altitude of 20 – 30 km. The exact value of this altitude depends upon the properties of the balloon material and the quality of preparation of the balloon for launching. The extent of the observations also depends on the weather. It is obvious that as soon as the balloon has entered into a cloud, it becomes impossible to determine its position with the optical theodolite. By the way, from the speed of ascent of the balloon, and the time interval between the time of launch and the moment it starts entering the cloud, one can determine the height of the cloud base.

Temperature–wind sounding. This sounding is performed with the aid of a radiosonde. It is more complicated than a wind sounding. The radiosonde is a device, which allows not only the remote measurement of atmospheric pressure, air temperature and humidity, but also for transmission of these quantities to a surface “receiving” radio station. Moreover, the receiving station monitors the track of the radiosonde as if it were a pilot balloon; that way it determines the speed and direction of the wind at different altitudes.

There are many types of radiosonde; their mass, depending on the radiosonde type, varies from 500 to 1000 grams, the rate of ascending is about 300 m/min, and the height they can reach is 25 – 30 km or more.

Designers and producers of these sounding instruments continuously work to reduce their weight and increase the altitude they can reach.

The radiosonde data are widely used for a variety of purposes, and mainly for upper-air chart composing and, hence, for weather forecasting.

Radar and satellite soundings

Radar sounding. The main tool for getting meteorological information using a radar is a Meteorological Radar Station (MRS), although some other types of radar (for instance, an aircraft radar) can be used for this purpose as well. Let us assume that the general principles of the radar operation are known to readers.

With the aid of an MRS one can obtain the following information.

- Type and size of clouds, their location and the location of various phenomena associated with the clouds such as thunderstorms, squalls and hail.
- The speed and direction of cumulonimbus clouds or their clusters and precipitation zone displacement.
- Evolution of cumulonimbus.
- The variation of separate cloud and cloud system characteristics.
- The area occupied by precipitation of different intensity, and some other information.

Radar observations do not require the launching any instruments into the atmosphere and they provide frequent information from a large territory where no meteorological stations are in operation. The radius of MRS action is 300 km from the point the radar is placed, and its antenna rotates 6 revolutions per a minute. Hence, in less than a minute a meteorologist can obtain information on cloudiness over the distance of 300 km from the location of the radar.

As discussed above there are appreciable advantages in having the radar observations compared with other kinds of sounding. Along with the advantages this method has some shortcomings as well. First of all, MRS is an "expensive pleasure". Its acquisition, installation, and running is expensive. Also the technical features of the radar limit its range of operation since, as like every radio device, MRS is subject to radio noises. Nevertheless, the radar information makes meteorologists more confident when solving the problems related to weather forecasting and storm warning.

Satellite sounding of the atmosphere is used for analysis of the atmospheric processes, weather forecasting, and climatological studies. Meteorological Satellites (MSAT) are equipped with complex scientific tools necessary for obtaining information on the state of the atmosphere and Earth's surface. They also contain equipment for maintaining the normal operation of all devices installed in the satellite and the satellite itself.

Usually, television equipment is installed on MSAT to take images of clouds and the underlying surface on the illuminated part of the Earth, and infra red radiometer to take the images on the shaded part of the Earth.

In addition to this information some weather satellites make thousands of vertical profiles each day of temperature and humidity down through the atmosphere. Thus weather satellites orbiting the Earth provide meteorologists not only with details of the location of cloud across the globe but also fill the gaps in the radiosonde network. Besides, the weather satellites make one more kind of observation: some special cloud types are known to be a good "tracers" of the wind. The locations of the clouds in following times of observation allow for estimation of direction and speed of the cloud masses by comparing their positions on consequent images. In this way, a significant number of extra wind observations are made available for the regions where there are few or no wind soundings.

All the equipment installed on the satellites works in two regimes.

- Information storage regime. The information is transferred to the Earth in a periodic manner, under command from the Earth, or according to a given program.
- Direct transmission regime. The information is transmitted at the time of observation (real-time regime).

Receiving and registration of the satellite information is done by complex equipment installed at the Earth's surface. The quality and amount of the satellite data received depend upon the properties of the equipment.

12. METEOROLOGICAL INFORMATION COLLECTION AND DISSEMINATION SYSTEM

In this chapter we consider the various types of observing networks that exist, the mechanisms for the collection and dissemination

of meteorological information, and the role of the World Meteorological Organization (WMO) in supporting the international exchange of data.

Observing networks

In any country the collection and dissemination of meteorological information is the basis of meteorological servicing of all economic structures. Really, it is difficult to imagine any forecasting center operating without receiving meteorological information. Knowing "the weather at the point", a reliable, competent weather prediction is impossible even for a short range. That is why in any weather service the collection and dissemination of the meteorological information has been and always will be the first priority.

There are different sources of sources of information from conventional surface meteorological stations up to meteorological satellites. Whatever the source, the information must arrive in a good time, with minimal amount of errors, and be representative. The main sources of the meteorological information are as follows.

- Network of the surface meteorological stations.
- Network of the upper-air stations.
- Network of the international exchange stations.
- Network of the automated meteorological stations.
- Means for weather prospecting.
- Meteorological satellite system.

Each of these sources separately cannot be regarded as being universal. Only by complex, simultaneous use of all these sources of observations can we get satisfactory results.

The network of the surface meteorological stations provides large volume of essential information. However, the amount of this information often turns out to be not sufficient for weather forecasting.

As we already know, the weather "does not recognize" political boundaries between different countries. Therefore, in addition to the data from a national network of surface meteorological stations, meteorologists have to use the data from the network of *international exchange stations*. Every country has its own network, and, according to an international agreement (through WMO), all countries are obliged to make weather information available for world-wide distribution.

The network of automated meteorological stations consists of remote meteorological instruments installed in the regions which are difficult to access. These automated stations usually transmit the measurements of the meteorological parameters four times a day via satel-

lites. This is very valuable information from the areas where there are *no other sources of information*.

The means for weather prospecting include radio technical and aircraft prospecting. *Radio technical prospecting* is carried out with the aid of radar. We have already discussed this in a previous chapter. *Aircraft prospecting* is made with the aid of airplanes (without passengers on board) that can make flights in complicated and unstable meteorological situations with the aim of providing detailed weather conditions. These aircraft supply information about the vertical structure of the clouds, visibility within the clouds and various phenomena dangerous for aviation. Sometimes meteorologists from aviation meteorological service take part in the aircraft weather prospecting provided that they have the necessary permission.

It is interesting

—Sometimes the forecasters taking part in the aircraft weather prospecting are called "hostages" since they make the weather forecast, they instruct the flying crew, they board the plane, and fly to see the weather, which they themselves have predicted.

Aircraft prospecting is an expensive affair. Therefore it is done in only special circumstances. Instead, information about current weather, and the presence of dangerous phenomena influencing taking off, flying, and landing of aircraft is obtained from the crews of airplanes.

Meteorological satellite systems provide the large amounts of information necessary for the forecasting units of the Meteorological Services. The data (images) from MSAT are received at the surface stations and then they are transmitted to the forecasting units. These data are very valuable for the proper assessment of the weather conditions over oceans, seas, and remote territories which are difficult of access.

Various kinds of the meteorological information obtained from different sources to a large extent complement each other, and ultimately assist the successful solving of problems related to meteorological servicing of the various economic structures.

Collection and dissemination of meteorological information

Every meteorological service (Regional Hydrometeorological Administration) has a special unit that is responsible for the collection and dissemination of meteorological information. Meteorological Services collect information from their "own" area through the local telecommunication system; it can be wire or radio telecommunication depending on the location of the meteorological station. In-

formation from neighboring Meteorological Services is transmitted only through Automated Data Transmission System (ADTS) channels. At present, a complicated information computing system has been developed. It has a number of specific functions because of the particularities of the hydrological and meteorological data: their global character, variety of data types and purposes, and the necessity of both objective and subjective data checking.

The ADTS represents a complete information and processing system. From the point of view of system theory the ADTS can be conditionally divided into separate levels. Every level carries out a special kind of operation. From the bottom upward the flow of information brings data in the form of the meteorological observations and from the top downward the flow of processed information in the form of diagnostics and prediction charts. Some kinds of ADTS have a structure where there is a distinct separation of the functions both with respect to data collection and data processing.

In Russia the Territorial Hydrometeorological Center (THMC) is also the Center of Primary Meteorological Information Collection. It collects the data from the stations around it. Such a Center performs both operational and scientific functions. It processes and analyses the information collected from the area for which the Center is responsible, forecasts the weather for various consumers and organizations, and calculates various hydrological and climatic characteristics. For example, the Hydrometeorological Center of the North West Regional Hydrometeorological Administration situated in Saint Petersburg performs all these duties for the NW of Russia.

WMO and the international exchange of data

The worldwide weather servicing is done through the World Weather Watch (WWW) created by the World Meteorological Organization (WMO). The World Weather Watch has three component systems: Global Observation System (GOS), Global Data Processing System (GDPS), and Global Telecommunication System (GST).

GOS consists of a network of surface and upper-air stations (those ones referred to above as the international exchange stations), automated stations, and meteorological satellites.

GDPS consists of three World Meteorological Centers (WMCs): Washington, Moscow and Melbourne, 24 Regional Meteorological Centers (RMCs), and many National Meteorological Centers (NMCs). The world has been divided into 24 large regions. Meteorological information from every region arrives at the corresponding RMC. Here

it is processed and disseminated in the form of charts, graphs, and weather forecasts for the region. Three of the RMCs are in Russia at Moscow, Novosibirsk and Khabarovsk.

Similar functions fall on the WMCs, but their zones of responsibility are much wider. Washington is responsible for the whole world, Moscow for the northern hemisphere, and Melbourne for the southern hemisphere. In addition, WMCs provide storage of the meteorological information. Moscow WMC has a special institution (in Obninsk), where the global data are stored.

GTS is organized on a threefold base.

- Main trunk circuit that connects World Meteorological Centers (WMCs), Regional Telecommunication Centers (RTCs), Regional Meteorological Centers (RMCs), and National Meteorological Centers (NMCs).
- Regional network of telecommunication.
- National network of telecommunication.

All RMCs and NMCs have equal access to the main trunk circuit. They are also connected to each other.

The meteorological information arriving through the ADTS contains data from the World Zonal Forecast System (WZFS). WZFS is the International System intended for making and presenting meteorological forecasts in a unified, standard form. By international agreement the WZFS includes a number of the World Zonal Forecasting Centers (WZFCs) and Regional Zonal Forecasting Centers (RZFCs). The main purpose of such a system is the provision, as far as possible, of the most accurate forecasts on a profitable basis according to WMO requirements.

If a country has accepted an obligation to support an WZFC and/or RZFC, it is obliged to create high standard working conditions in the Center enabling it to produce accurate, timely weather forecasts satisfying all the users of the forecasts. It means that the Center should have competent personnel, high quality technical equipment, and be supplied with appropriate data.

At present two WZFCs (Washington and London) and 15 RZFCs (one of them in Moscow) are in operation.

If for some reasons a forecaster has not got a meteorological message, he (she) sends the inquiry to one of the Data Banks. The answer will come to him (her) by the service channel of the ADTS. There are five World Banks of Data: Moscow, Vienna, Brussels, Washington, and Brasilia. For the potential users of the Russian Weather Data, for them it is preferable to seek data from a foreign Data Bank. The rea-

son is that the foreign Data Banks send the information free of charge, while the Russian Bank only provides information upon payment.

13. TYPES OF FORECASTS AND THE MAIN PRINCIPLES OF WEATHER FORECASTING

In this chapter we consider the various types of forecasts that can be made and the methods available for making those forecasts.

Types of forecasts

All Meteorological Services make many varied weather forecasts which are different with respect to lead times and forecasting techniques.

On the lead-time the forecast can be

- Super-short-range forecasts; the lead-time is < 12 hours.
- Short-range forecasts; the lead-time is $12 - 36$ hours.
- Medium-range forecasts; the lead-time is up to 2 weeks.
- Long-range forecasts; the lead-time is > 2 weeks, usually a month, or a season.

Super short-range and short-range forecasting is performed at a majority of forecasting units. Medium-range forecasting is done at some Meteorological Centers only. Long-range forecasting is done at large meteorological Centers such as RMCs, NMCs, and WMCs.

Every kind of forecast has its specific features. Therefore, the forecasters cannot use the same procedures for all kinds of forecasting.

On the purpose the forecasts can be

- Of general usage (for people).
- Of specialized usage (for various branches of the economy).

On the principles of forecasting the forecasts can be

- Persistence forecasts which assume that the weather will remain as it is at the initial time. It should be noted that one-day persistence forecast is justified in 67% of cases.
- Climatological forecasts which are a kind of long-range forecast produced on the basis of climatic characteristics.
- Random ("blind" or "semi-blind") forecasts which are those given without any scientific ground. Justification of the random forecasts is 50% (it will be or not will be).
- Extrapolation forecasts which are forecasts made on the basis of linear or physical extrapolation.
- Systematic forecasts which are the forecasts made on the basis of a forecasting technique. Justification of the systematic forecasts depends upon the quality of the method used.

On the presentation of the forecasting results the forecasts can be

- Categorical forecasts ("yes – no", "will be – will not be").
- Probability forecasts (percentage probability of an event arising).

It is interesting

– Studying various publications, the reader can find two terms: "forecasting" ("to forecast") and "predicting" ("to predict"). Although these two words are synonyms, the authors prefer to the term "forecasting" as possessing more general sense.

– As to the random or blind forecasts, there is a joke that these forecasts are made from the formula $A=4W+3F$. Here, A can represent any forecast value (phenomenon), $4W$ means four walls of the room the forecaster is to look at when forecasting, and $3F=F_1+F_2+F_3$, where F_1 denotes the floor in the forecasting office, F_2 denotes the furniture in the office, and F_3 is a finger in the forecaster's mouth as he (she) is thinking on what weather is likely to be. As to the accuracy of such kind a forecast, it is left for us to appreciate.

– There is no doubt that any meteorological forecast is justified with a certain degree of probability. It is clear that any forecasting office would prefer to present their forecasts in the form of probabilities. However, the users of the forecasts reject this form of the forecast, they resist this idea in all possible ways. The reason is that the categorical forecast ultimately means that the decision concerning economic problems falls on the Meteorological Service. For instance, if the forecast holds an expectation of a thunderstorm, the airport dispatcher does not allow for aircraft landing; if the forecast warns of a snowstorm, municipal services of the town start preparing the snow removal engineering. These examples make clear for the reader that everything is under the control of the "boss" who refers to the categorical forecast. It is not clear who is more responsible: the "boss" or the forecaster? As to the "boss", he doesn't want to bear a load on his shoulders. He prefers to have a little man blamed (a scapegoat) in the person of the forecaster. If the forecast is given in probability form, "the scapegoat" disappears and the leaders have to take the necessary decision by themselves. Really, if in one case the forecaster has predicted a thunderstorm occurrence with the probability 70 %, and 30 % in another, then in this situation the dispatcher himself is to answer the question "What is to be done?" It goes without saying that Meteorological Services must provide assistance to the heads of organizations and various economic structures to take optimal decisions. Meteorologists are ready to do it. However, it is unfair to always be "a little man to be blamed".

Forecasting methods

At the disposals of meteorologists there are a variety of forecasting methods.

Synoptic method. This method is based on the combined analysis of surface and upper-air weather maps, the surface ones being of various scales. Besides, the forecasters use numerically predicted charts and some other information such as satellite and radar images. Have analyzed all available information, the forecaster arrives at a conclusion about the forthcoming development of the atmospheric processes, on the possibility (or impossibility) of various phenomenon arising, and, hence, on the weather that is likely to occur. This forecasting method is rather reliable, simple, and widely used. The main drawback of the method lies in the fact that the quality of the forecasts depends upon the forecaster's experience (i.e. it is a subjective method).

It is interesting

—Imagine a situation when someone who knows little about the weather is sitting beside a weather forecaster. Looking at the forecaster, the man may think that the forecaster is just doing nothing. He is simply looking at one weather map, then to another one, silently nodding his head, and suddenly gives the forecast. For an outsider this may seem strange. However, an intensive thinking process is concealed in the forecaster's head. This intensive work is not seen from outside. The forecaster performed all analyses in his mind without making any calculations. Even now, not for anything, they say that the main "weapons" of the forecasters are a pencil and an eraser.

Calculation method. This method is used when the forecaster needs to obtain values of some parameters that define the expected weather. These simple calculations do not require the aid of an electronic computer — an ordinary calculator is quite sufficient in this case. An example of such a calculation is determining the value of the Richardson Number for an atmospheric layer. Another example is the calculation of the height of the base of low cloud from semi-empirical formulas. In the last case even a calculator is not always needed. From the above reasoning it follows that the calculation method implies just simple arithmetic actions, uncomplicated calculation technique, and the prompt obtaining of the results.

Numerical method. This method is a more sophisticated and it requires the use of powerful electronic computers. Since both calculation and numerical methods require computing operations, they are often regarded as belonging to the same group of methods. Nevertheless these methods are different. The calculation method is a simple one and intended for obtaining, as a rule, the value of one parameter. On the other hand the numerical method requires use of complicated numerical models.

For a better understanding of the method let us cite an approximate scheme for numerical prediction. The pressure field over a large area (Hemisphere) at many levels is used as the initial data. These values are specified at grid points on a three-dimensional grid with up to 50 levels in the vertical and a horizontal grid length of 500, 300, or even 50 km. Then, using the physical laws describing the behavior of a fluid, the expected pressure values are calculated a short time ahead (referred to as the time step). The time step depends upon the horizontal grid spacing. The predicted pressure field is then adopted as being the initial one, the calculations are repeated. This process continues until a forecast of the required is reached.

In reality numerical models use sophisticated techniques to determine the grid point values of atmospheric parameters (e.g. pressure, wind, temperature and water content) from the observations. Also, as well as using the full set of thermodynamic and hydrodynamic equations, the models include simulation of processes such as radiation exchange, turbulent diffusion and interaction with the surface, convection, and formation of cloud and precipitation. There are many different ways of formulating these models depending upon the approximations made to the basic equations, the representation of physical processes, and the resolution and domain of the model. This has resulted in the creation of a large number of different prediction models.

It goes without saying that these calculations cannot be done with an ordinary calculator. Moreover, computer programmers believe that at present the most laborious and bulky problems for computers are those related to high-level chess-play and weather prediction. These problems require a large computer memory and tremendous computation speeds.

It is interesting

—The word "model" sounds fine. However, at some good, old times, when scientists didn't have this word in their lexicon, they used to say simply "let's assume". Let us agree that any model is just an assumption. When a model is able to fully represent a meteorological situation and the way it develops the numerical forecast will be quite accurate. It may also happen that sometimes the model is not able to accurately simulate what is going on in the atmosphere. So, by no means offending "numericians" (any way the future belong to them), we may say that so far the existing models are still just a simplification of the real atmospheric processes in spite of many successful development in this field.

Correlation method. This method is based on the correlation between one meteorological parameter and some others. For instance,

we know that with negative air temperatures a fog can appear when the relative humidity is less than 100%. Therefore, for every locality one can find a relationship between air temperature, relative humidity and the possibility of fog formation. Using this relationship when forecasting the fog we can apply the correlation forecasting method based on the expected values of air temperature and humidity. This method is objective, and rather simple; also it provides quick results. However, it may only be used for a definite location.

Synoptic objective method. This method is based on statistical relations between a phenomenon and the synoptic situation in which the phenomenon develops. Like the correlation method, this method is also objective, simple, and easy to use, but it may only be used for a definite location.

The combined use of all existing forecasting methods, experience, and knowledge of local weather features enables meteorologists to make successful forecasts.

14. WEATHER AND REGIONAL ADMINISTRATION

In this chapter we consider the financing of the Meteorological Service and the losses to the economy caused by the weather.

Financing the Meteorological Service

- The Meteorological Service of the Russian Federation is financially secured by the Russian Government from the state budget. It means that the financial support is very poor. The leading officials of the Service stated that the Meteorological Service of Russia is a profit-maker.
- One rouble invested in the Service diminishes the losses to the economy by 8,3 roubles. If meteorologists could be given the 8,3 roubles of profit instead of diminishing the losses, then the Service would be respected and get more investment.
- The losses of the Russia economy due to weather impacts are as large as $20 \cdot 10^9$ a year. If the Meteorological Service stops functioning, the losses would be doubled (i.e. $40 \cdot 10^9$ a year).
- At present the losses due to weather impacts, which cannot be prevented, on average are about 50 – 60% of all losses; the losses, which can be prevented using specialized forecasts, are about 20 – 30%, and for the other 10 – 20% the losses could be prevented by more accurate and detailed forecasts.

The most considerable detriment due to weather conditions falls on the following branches of the economy.

- Agriculture and industry (60% of all losses)
- Energetic (8,5%)
- Transport (8,5%)
- Municipal economy (8,9%)
- Construction industry (6,8%)
- Forestry (3,1%)
- Communication (2,6%)
- House heating complex (1,6%)

These figures are very impressive, and they become even more impressive if we recall the size of the State budget.

Considering the figures cited above, one can state the following. **Certainly**, all branches of the economy suffer significant losses due to weather impacts; **certainly**, all branches of economy are interested in getting well-timed, correct, specialized weather forecasts; **certainly**, these good quality forecasts can be made by the Service, which meets all modern requirements and is equipped with recent, high standard technology devices; **certainly**, the high standard equipment costs a lot of money that is not available in the State budget. Hence, the Meteorological Service should be financed from the budgets of those economic branches, which use the forecasts prepared for them. Thus, if such economic branches as *agriculture, energetic, transport, municipal economy, construction industry, forestry, communication, and house-heating complex* transfer a part of the money they saved due to the Meteorological Service, then the number of problems with the provision of specialized forecasts would be much smaller.

Let's make some calculations. According to the Hydrometeorological Service data, a proper usage of the specialized forecasts can prevent 20 — 30% of all the losses of the Russian economy. Let it be 20% only (i.e. \$4 billions). If only ? of this sum is transferred to the Russian Hydrometeorological Agency it would get \$10⁹ a year (At present, the Agency is financed from the State budget with significantly smaller funds.) This sum does not include the money that could be obtained from the mass media, insurance companies, Defense Ministry, and ESM (Extraordinary Situation Ministry). Such an approach would allow the Hydrometeorological Agency to raise its activities up to the highest, world standard.

At present the most urgent problem being faced by the Meteorological Agency is providing the Meteorological Computing Centers with the modern computing facilities. Some time ago com-

puter experts could not solve two kinds of problems: chess-play and making meteorological forecasts. Both kinds problem require computers with immense memory and rapid speed of computation. Now these problems have been already solved, but the cost of the appropriate computers is too much for the Meteorological Service.

One modern civil plane costs a few tens of millions dollars, and one sea boat or ferryboat a few hundreds millions of dollars. The Meteorological Service would completely cover its expenditure for its activities for a number of years if it could prevent a catastrophe to just one plane or one boat. However, the Meteorological Service renders more vital services than for one boat or one plane.

We may assume that the main users of meteorological information are known to us. Hence, we are aware of the main possible sources of finance for the Meteorological Service, including the State budget. Let us hopes that those responsible the proper state and high standard of the Meteorological Service make wise decisions about funding. There is no secret that among VIPs one may hardly meet a person who would be not be interested at least once a day in what the weather is like. It's not worth disappointing such high ranking people.

Estimating economic losses due to the weather

Many attempts were made to estimate the losses due to dangerous and unfavorable weather conditions. Our scientists N. A. Bagrov, G. P. Wimberg, E. E. Zsukovsky, V. I. Kondratjuk, and E. I. Monokrovitch, and the founder of the Economic Meteorology, L. A. Khandozsko, greatly contributed to this matter. However, here, we'll propose our own approach that, in our opinion, has some common sense.

First of all we estimated what dangerous phenomena influence this or that branch of the economy (for instance, forestry is affected by strong winds, thunderstorms, dry and hot weather of long duration), and then we estimated the impacts of every dangerous phenomena on various branches of the economy. The initial information includes the area of the region, population of the region, intensity of the transport operations, occurrence of forest fires, and data on losses. The latter are indicated in US dollars for the sake of relative stability.

Here is an example of our calculation. According to the information from the Central Statistical Department (CSD), the agricultural arable lands (ploughed fields, meadows, pastures, and orchards) of Russia are 222,3 million hectares. According to official data, agriculture suffers losses due to unfavorable weather conditions of about \$10 billions a year. Simple arithmetic calculation suggests that every hec-

ture of the arable lands suffers losses of \$45 annually, \$30 of which are unavoidable losses, and for the other \$15 it is possible "to struggle" to avoid these losses. In the same way figures were obtained for the other branches of the economy.

Here are some figures that can be used to estimate the economic impact of various weather conditions.

- For S. Petersburg and Leningrad district the average losses due to weather conditions is about \$900 millions a year. A hailstorm occurred on 21.07.1999, the sizes of the hailstones being as large as 5 cm (weighing about 50 g), resulted in losses amounting to \$400000.
- Prolongation of the heating season by only one day results in additional expenditure of \$170000
- Expenditure for heating 1 m² a year in S. Petersburg is about \$3.
- Providing reasonable heating (according to existing norms) when the air temperature over European Part of Russia falls by 1°C results in additional expenditure of \$700000 a day.
- In Europe 1 kW/h of energy costs in average \$0,04.
- In case of catastrophic weather phenomenon it may happen that airport run way or auto roads can be damaged or destroyed. In connection with this it is worth remembering that one linear meter of a modern runway costs about \$20000, and one linear meter of an auto route \$7000.
- Closing all airports of Russia for one hour brings losses of \$300000.
- One ton of aviation kerosene costs about \$200 and the plane "TU – 154" consumes about 7,5 tons for one hour flying.
- Snow removing operations at "Pulkovo" airport costs about \$3000 per hour.
- Caterpillar cleaning for one hour in the streets of S.Petersburg costs about \$10.
- To sprinkle with the salt-sand mixture all streets in S.Petersburg costs about \$240000.
- Economic losses due to additional expenditure for keeping roads in working condition during unfavorable weather are \$25000 for 100 km of a road per year.
- If an airline of communication is damaged by a strong wind of glaze, the cost of restoration of one block of the line is about \$5000.
- Restoration of the consequences of strong winds in S.Petersburg on average costs \$10000 per event.

- A single thunderstorm inflicts losses to the economy of about \$70000 on average.
- A forest of one hectare produces approximately 100 m³ of timber, and, if the forest perishes due to fire or for some other reasons, the losses can amount to \$1000 per hectare.
- Stoppage of a tower crane for an hour produces a loss of \$150 for the construction company.
- Restoration of a single mast of a trunk power transmission line costs \$200000.
- Stoppage of one tram, bus, or trolleybus for an hour causes the transport enterprises to lose \$7 – 10 in the town with the population up to 500000, and \$10 – 15 in the town with population of more than 500000.

It is obvious that all these figures are very approximate and subjects to change depending on the place, time, and situation. However, the information cited here seems to be useful in enabling any regional administration to take proper decisions aimed at diminishing losses caused by unfavorable and dangerous weather phenomena in the region.

15. WEATHER AND MASS MEDIA

In this chapter we consider some of the problems associated with the weather information that appears in the Mass Media.

Perhaps, there is no such newspaper or radio station that would not inform readers or listeners about the current and expected weather. In fact, the weather is of interest for everyone, and the Mass Media has an interest in providing plausible information about the weather.

Naturally, "demand" for the weather forecasts increases at weekends and holidays, on the days when autumn or spring frosts are likely to occur, and during the harvest. The method of the weather presentation in the press in many instances depends upon the artistic taste and professionalism of the editor, and also on the financial state of the publishing company. Certainly the Mass Media pay some money to various meteorological institutions or to some persons for the weather information. We'll not discuss this matter here. Instead, we'll take up three other problems.

Firstly, if one gets from various Mass Media information on the expected weather for the same region and the same period of time, the differences in the forecasts will often be significant. This gives consumers an unpleasant impression about the expertise of meteor-

ologists. Meanwhile you'll not find in any of the newspapers a statement about the source of the information. That does not seem appropriate. Of course, any newspaper, radio station, and TV station has the right to "broadcast" what it considers to be needed. However, it should make reference to the source of the information used in the presentation. If the information has been obtained from a meteorological institution, the name of that institution should be mentioned. Similarly, if an experienced forecaster, even a very experienced one, prepared the forecast on the basis of the data taken from the Internet, the name of the forecaster should be indicated. In the worst case let the name of the person who prepared the text of the weather forecast be mentioned in the newspaper or in the radio (TV) program.

Secondly, very often various radio stations broadcast information on the current weather in a different sequence. Even a single radio station on one day will broadcast first the pressure, and then the humidity, but on the next day it can be in reverse order (for the sake of fairness, we must admit that in every case the air temperature is always the first to be mentioned when the weather conditions are broadcast). For the listeners it is not convenient. It would be more useful if the broadcasting order was always the same. In principle it is not difficult to solve this problem.

Thirdly, radio (TV) announcers, after broadcasting the weather forecast, they often like to add just for effect that they hope that this time the forecasters will not let us down. That is unfair; it makes the forecasters bear a professional grudge against the announcers. That is very like forecasters saying that they hope that when reading the news the announcers will not stutter.

16. WEATHER AND HEALTH

In this chapter we consider an index that can be used to provide information about the impact of the weather on the comfort of an individual.

Many people react to weather and its variations. Many scientists both in Russia and abroad studied these reactions and have worked out a series of techniques and indexes for determining weather conditions that impact on human health. All of them are rather complicated and are intended for the specialists in this field. As a result, these techniques and indexes are seldom used for practical purposes.

However among these techniques and indexes there is rather simple one called the *Meteorological Health Index (MHI)*. It allows any-

one who is able to count the change in the shop to estimate the possible weather impact on his (her) general state. To employ this index, one must just listen a radio broadcast of weather information and look through a window of his (her) flat at the sky. The meteorological characteristics chosen the index are always available and understandable. These characteristics are *air temperature, atmospheric pressure, wind speed, relative humidity, presence (or absence) of cloudiness and precipitation, and also temperature and pressure variations during the past 24 hours*. When calculating the MHI value, all together eight characteristics are to be taken into account.

Estimation of the weather impacts on the human health was made through the calculation of so-called "comfort points" for each parameter. The most comfortable values of the air temperature, atmospheric pressure and other characteristics were taken from various publications by Russian and foreign scientists (biologists and physicians). For every element the maximum comfort point was adopted as being equal to 5, and the minimal one as 0. It seems to be unnecessary to cite here the exact numbers given to the comfort points for various meteorological parameters. It is sufficient just to indicate a possible approach to the problem.

The MHI is not intended to give any medical recommendations. It simply provides a warning about the likely impact of weather conditions one may expect on a given day and, on the basis of this effect, plan his (her) activity.

An interesting feature of the MHI is that everyone can determine the MHI value as applied to their own reaction to the weather conditions. For instance, the comfort point 3 corresponds to the air temperature equal to 30°C on the common scale. However, one may feel too hot at this temperature, and he (she) can choose point 1 instead of point 3. At the same time, another person may feel very comfortable at this temperature, and therefore he (she) may choose point 5, and so on. It means that every one can create an individual MHI corresponding to his (her) reaction to the weather conditions. For example, citizens of Jukutia will experience discomfort being at a place in Central Africa whereas a citizen of Africa will be uncomfortable in Jukutia, especially in wintertime.

If the MHI value is determined from the current weather, the estimate of weather impact on human beings is valid for a short period (i.e. that is the current effect). If the MHI value is determined from a weather forecast, the period of the index validity will be equal to the forecast lead-time. If the initial information needed for the MHI cal-

culatation is climatic data (characteristics) of the region, the calculations will suggest the comfortability of the living conditions in the region.

Preliminary research has given some unexpected results. It turns out that along with southern regions of the European Part of Russia (EPR), that is naturally so, the most comfortable living conditions were found in Vladivostok and Kolima region. The northwest regions (for instance Saint-Petersburg) of the EPR, the northern part of Krasnojarsk Krai, and regions near the Lake Baikal are found to have the most uncomfortable conditions. It seems that the people living in the most uncomfortable regions need to be supported by some increments to their salaries and by some other privileges. That is not easy problem but it should at least be put forward for discussion.

The Meteorological Health Index can be used when solving various problems, even those we usually do not think of. For instance, it can be used for sport, business, military matter, etc. Overall weather becomes an important element of various fields of human activities (transport, business, health, care, etc), and the most far-sighted people take this into account when planning what they are going to do.

17. WEATHER AND SPORT

In this chapter we consider three aspects of the impact that weather can have on sport.

Weather and sport are closely related to each other. A competent trainer and well-prepared sportsman should take account of the character of the weather expected within a competition period. The trainer, in addition, should know the reaction of each sportsman to various weather phenomena. Meteorological Health Index (MHI) values, especially the individual MHI values, and the weather forecast will help the sportsman and his (her) trainer to determine the tactics for any kind of sporting event, even in the case where the competition is conducted under a roof, or to chose the best members of the team for the current day.

Suppose a trainer in field and track athletics is to choose from five available athletes the optimal membership of the team for a relay race of 4?100 meters. At first sight that is a simple task. The trainer must choose those sportsmen who have shown the best results in 100 meter races. Usually that is the common approach to the team formation. However, if the trainer is aware what kind of weather is likely, or at least he knows the air temperature at the stadium, he may take another approach for choosing the team. For instance, if he has known

that the air temperature at the stadium is expected to be, let's say, 30°C and his "first member" (the best racer) wilts at this temperature and, therefore, will be unable to produce his best results, he will keep this racer in reserve. Next time, during more favorable weather conditions, his "number one" is more likely to produce his best results. Of course, to do this, the trainer should be well aware of the ability of his sportsmen, the strengths and weaknesses of their bodies, and the expected weather conditions. That is one aspect of the interaction between weather and sport.

The second aspect of the weather and sport interaction lay with the fact that the weather makes out-of-door sports competitions difficult, and sometimes leads to their cancellation.

- When the air temperature falls to -21°C or lower, ski races are cancelled due to the possibility of racers getting frostbite.
- In triathlon competitions, when the water temperature is lower than 22°C , the sportsmen must swim 1500 m in hydro clothes.
- Biathlon competition must be postponed or cancelled when the visibility is less than 100 m due to snowfall.
- Strong winds hinder the conduct of ski jumping competitions.
- Calm conditions cause the cancellation of sailing competitions.
- When the wind is more than 2 m/s the records established in 100 and 200 m races are not taken into consideration. The same applies for records in the long jump and triple jump.

The list of the weather conditions restricting various kinds of sporting competitions can be continued. However, the examples above show very clearly the impact of weather.

The third aspect of the weather and sport interaction is the choice of the period suitable for various competitions. It is well known that the timetable of any competition, especially international ones, is prepared well in advance. Hence, to make an optimal plan and timetable for the competition, one must take account of the climatic characteristics of the region where the competition is to take place. For instance, sometime ago every year one of the stages of the World Cup for ski-racing used to take place near Saint Petersburg at the beginning of January. That was fine, but often the required snow cover wasn't formed by the first days of January. That is why frequently this competition was under threat. If it were planned for the end of February or beginning of March, the "snow problem" would never arise.

Using climatic data and values of MHI based on climatic characteristics, an optimal period was chosen for the Olympic Games in Saint Petersburg in 2004. Unfortunately, this information was not required

as the Olympic Games took place in Athens. It seems that the organizers did not take account of the climatic particularities in Athens and chose a wrong period for the Games. During the competitions the daytime temperatures were near 40°C. It would have been much better for the sportsmen if the games were scheduled for a bit later in the year (let's say in October). This would have been of advantage to both sportsmen and spectators.

18. WEATHER AND ENTERPRISES

In this chapter we consider the consequences of enterprises being unwilling to pay for specialized forecasts.

All that has been written previously, dear reader, was intended to convince you that, in fact, there is no branch of industry, nor any enterprise, which is free of weather impacts. Even though the leader of an enterprise may consider that the weather can never affect the production, quality of the products, and consequently the income, the leader is mistaken. For example, even dank weather may affect workers involved in any activity with unpredictable consequences.

Let's draw our attention to the following problem. In Russia there is a joint-stock company "RAO EES". It includes many enterprises. They are monopolists and trade without problems. In Russia there is another joint-stock company "GASPROM". It is also monopolist and also has no problems. In Russia there is a Federal Agency "ROSHYDROMET" which provides meteorological services. It is also monopolist, but its "life" is far from what can be called normal. *Why?*

After a long search and consulting a number of specialists, we can tackle this question in the following way.

Firstly, whatever we may think, we must accept that the Meteorological Service is just part of the service industry. Everyone for personal and business purposes uses the products (mainly weather forecasts) from the service.

Secondly, in the Meteorological Service the marketing and management is poorly organized. To be precise, we do not know to whom and for what price our monopolistic information can be sold. It may look strange, but tourist firms, insurance agencies, automobile transport, and some other branches of the economy prefer to operate without weather information. The reason is that this information, naturally, costs a lot of money, and, it is also natural that the firms and agencies do not want to pay for that information. That is why directors of the firms and whole branches of the economy try to manage

their activities without using meteorological information. In fact they use the weather forecasts made for general purposes. The Meteorological Service makes and publishes these forecasts free of charge since the service is a State Organization. This kind of practice saves some money for the firms until an extraordinary accident has occurred due to unfavorable weather conditions; namely an accident that couldn't be foreseen from the general weather forecast. That is the time when the Meteorological Service is remembered and often with unfair words which seem to be very unjust.

Thirdly, leaders of the economic structures need to take competent decisions when receiving weather forecasts. That is not an easy task. They need to be competent specialists in the field in which they work and be able to supervise the production activities. In addition, they should be able not only to take competent decisions but also be responsible for them. That is also not an easy matter and there are not many people who are ready to take on these extra "headaches". It is much easier to transfer all responsibility to the Meteorological Service ("I've got it from the Meteorological Service", or "I was told...", etc.). It is true that to take a competent decision on the basis of the general weather forecast is a very difficult task. To make this task easier, the enterprise needs specialized forecasts. These forecasts cost money. Saving money on obtaining specialized forecasts is short-sighted; the cost of making wrong weather-related decisions far outweighs the cost of these forecasts.

The problem of so-called meteorological risks and meteorological "double insurance" is a matter of another subject, namely "Economic Meteorology". Here, we just refer the readers to this subject.

And finally, it would be desirable that in a Meteorological Service those working with "ploughs" would be not pushed aside with a "spoon". To be fair, we must mention that this trouble (or problem) unfortunately exists everywhere, not only in the Meteorological Service.

19. WEATHER AND ECONOMY

In this chapter we consider the information that is required to estimate the economic impact of unfavorable and dangerous weather phenomenon for a particular location or region.

To estimate and analyze the losses of a regional economy due to weather conditions, it is necessary to know the climatic characteristics of the region, its economic potential, and the losses of every branch of the economy due to unfavorable and dangerous weather phenom-

ena. Not all this information is always available. It is not a real problem in getting the climatic characteristics of the region. All these characteristics can be obtained from various climate reference books (in this respect the Meteorological Service is ready to make all this information available and free of charge). Data on the regional economic potential can be obtained, in principle, from the statistics administration of the region. At least a part of this information is also open. However, to obtain all the information needed, one must make considerable efforts.

The most difficult task is to procure realistic information about losses incurred by an enterprise or a branch of the economy due to unfavorable and dangerous weather phenomena. The leaders of enterprises and organization are always reluctant to share this information with anybody. However, without these data one cannot make a competent analysis.

The information on economical losses in combination with the climatic characteristics allows us to determine *meteorological risks*. Applying values of the meteorological risks, leaders of every branch, enterprise, firm, or company can make competent economic decisions which take account of the available weather forecasts as already discussed in the previous chapter.

If the values of the meteorological risks are determined from climatic characteristics, we'll obtain a mean value of the losses for a given period of time (month, season, and year). If we do it on the basis of a long-range forecast, we'll obtain a predicted value of the losses valid for the forecast range.

In principle, we can obtain some conditional value of losses due to dangerous weather phenomena with respect to units of production. Moreover, accounting for economic potential of other regions, we can determine values of the meteorological risks for any region.

Summing up the reasoning given above, we can conclude that to predict possible losses due to unfavorable and dangerous weather phenomena in a given region, one must pay attention to the following two factors.

- *Economic potential of the region.* This is determined by labour resources, production possibility of construction and industrial enterprises, production possibility of the regional agriculture, length and state of the arterial roads, and availability of natural resources. All these determine the level of development of the economy, and, finally, the role of each of them in the structure of the regional gross output.

- *Climatic particularity of the region.* That is determined by the frequency and distribution of unfavorable and dangerous weather phenomena.

To estimate and investigate for a particular region the detrimental impact of unfavorable and dangerous weather phenomena, one must create an information base that includes climatic data, information on loss structure in every one of the economic branches, and the regional losses due to unfavorable and dangerous weather phenomena. Choosing an arbitrary combination of a branch and unfavorable and dangerous weather phenomena, it is possible to obtain data on the detriment level and its distribution over the region in various periods of time. Such a database would include the following elements.

- Climatic information including mean number of days with unfavorable and dangerous weather phenomena for every month and for every year.
- List of unfavorable and dangerous weather phenomena with an indication of their weight coefficients when determining economic losses for every branch of activity.
- The sum of the average losses of every branch of activity for a year.

All calculations are intended to provide a determination of the average losses in a specific type of activity due to one specific weather phenomenon. Proceeding from the data about the frequency and distribution of the unfavorable and dangerous weather phenomena, one can get information about possible detrimental impacts in the region. Depending on the task to be solved, the necessary information can have various temporal resolutions, and can represent a definite point or territory. The results of the process must be presented to consumers in a form suitable for taking decision, i.e. in the form of tables, graphs, diagrams, and maps.

20. WEATHER AND ECOLOGY

In this chapter we consider some of the factors which affect the environment in which we dwell and some of the ecological dangers associated with the weather.

The word "ecology" came to us from Greek words "*oikos*" that means *house, dwelling, homeland*, and "*logos*" that means *notion, science*. As we understand it now, *ecology* is a branch of biology studying the interaction of living organisms with the environment. Distinguishing ecology as an independent science is actually conditional

because any biological discipline should consider every organism in unity with the external conditions.

The ecological situation in every region of the Earth is subject to variation due to the impacts of the global processes that slowly and continuously change the environment and under the impacts of synoptic scale processes that change the environment for short periods.

In many countries of the world scientists try to solve the problem of both the global change of the climate, and its variations within specific regions. Doing this, they study the water and atmospheric pollution, cutting down the forest massifs, sea pollution in coastal areas, desertification, ozone layer exhaustion, rise of the global sea level, and human health problems. The range of the ecological problems is rather wide and diverse.

Let us cite a few global "figures", which show how the human beings are careless with respect to environment in which they dwell.

- Before people started farming on the Earth, the forests covered $62 \cdot 10^6$ km² of the land; now the forests cover only $36 \cdot 10^6$ km².
- In average 20 tons of raw materials are mined per person per year on our planet. These materials are processed using 800 tons of fresh water and 2500 kW of power. However, the consumer products made from raw materials can be regarded (and they really are) as "postponed waste".
- The consumer products for each person costs "Mother — Nature" the equivalent of displacing 400 tons of rocks a year and spoiling 2 m² of the ground.
- The power of all volcanoes and geysers on the Earth is about 100 times less than the power obtained from burning fossil fuel, i.e. man pollutes nature 100 time more intensively than nature.
- In Russia in 1991 the overall input of pollutants into the atmosphere was equal to $53 \cdot 10^6$ tons, the main constituent of these being the substances formed during the burning of fossil fuels.
- In developed countries every man "creates" 1,5 — 2 kg of waste every day.

Thus for the happy life in the developed countries the people pay a very high price. To raise the living standards up to the "normal" for the whole population of the planet, it necessary to increase the raw materials, energy and fresh water consumption by at least one order of magnitude (i.e. ten times). However, the resources of our planet are not unlimited.

Though not going into details about the ecological problems, it is worth noting that the nature preservation activity in any

country, in response to significant anthropogenic impacts, is to solve three problems:

- Preserving and restoring the natural ecological system.
- Supporting the population to save life.
- Providing for sustainable economic development.

Taking up the relationship between weather and ecology, first of all one has to consider the processes which can markedly influence human health. Here, dear reader, we refer you to that part of this book, where we discussed the impacts on health of the unfavorable and dangerous weather phenomena. From the ecological point of view it becomes obvious that the weather forecasts are needed, and the population and various economic and administration structures need to be informed about the expected weather conditions. In turn the administration and leaders of the economic structures have to take appropriate decisions on the basis of the weather forecasts. The following considerations demonstrate the ecological danger of some weather elements.

- *Air temperature.* Very low temperatures can result in the destruction of heating systems. The consequences are obvious. Air temperatures around 0°C result in increased traumatism. High air temperatures in combination with high humidity can lead to a large probability of various epidermises. Also a temperature inversion is a good condition for smog formation, and an unstable stratification of the atmosphere makes possible the transfer of harmful admixtures over a large area.

It is interesting

—The western Mass Media likes saying that in Russia the ecological problems do not receive the necessary attention from the government. Perhaps, it is true. However, the western countries should not be concerned about it. The matter is that the existing atmospheric circulation provides for the air mass displacement from the west to the east. Therefore, when any harmful emission occurs, we practically pollute ourselves, and Europe spoils our air in a direct sense.

- *Atmospheric pressure.* By itself this does not present any ecological danger. However, its significant variations in pressure result in very strong winds and dust-storms. Also its large temporal variations make an appreciable impact on human health.
- *Intensive precipitation.* This creates some problems for canalization, and the quality of drinkable water becomes low which can result in some infections.

- *Storms and hurricanes.* It is goes without saying that storms and hurricanes are destructive phenomena. That is why the prediction of these events is of great value for our well being and safety.

AFTERWORD

Dear reader, you just have completed studying (reading, getting through) this training aid. In this book we tried to show you in a most simple way various atmospheric processes, their interactions, and their impact on the human activities. We broached some questions, which were never discussed in the meteorological textbooks. Of cause, all what we managed to take in is just a small part of the knowledge needed to become a competent meteorologist. To get the necessary knowledge, there are many comprehensive textbooks, so – called "huge bricks". However, if you are engaged into marketing meteorology or you are a public relation officer of a meteorological organization, or responsible for selling meteorological products, this book is just intended for you.

We hope that this book will give everything you need for your activity.

Содержание

Предисловие	3
Введение	5
1. Строение и состав атмосферы	8
2. Метеорологические параметры, единицы их измерения и приборы	13
3. Распределение температуры в атмосфере	33
4. Ветер в атмосфере	39
5. Вода в атмосфере	45
6. Неблагоприятные и опасные явления погоды	50
7. Воздушные массы и атмосферные фронты	64
8. Облака, их образование и классификация	78
9. Атмосферные осадки, их образование и классификация ..	84
10. Организация метеорологических наблюдений и структура Росгидромета	87
11. Дистанционные методы измерения метеорологических величин	91
12. Система сбора и распространения метеорологической информации	95
13. Виды прогнозов погоды и основные принципы их разработки	99
14. Погода и администрация региона	104
15. Погода и средства массовой информации	110
16. Погода и здоровье	111
17. Погода и спорт	113
18. Погода и хозяйственные структуры	116
19. Погода и экономика	117
20. Погода и экология	119
Заключение	122