**СИНОПТИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ**

**Часть 1**

*Метеорология* – это наука об атмосфере, о её строении, свойствах и протекающих в ней процессах. На современном этапе развития метеорологии из нее выделилось несколько частных дисциплин, в том числе синоптическая метеорология (от греч. *synoptikos* — обозревающий всё вместе) – учение о физических процессах в атмосфере Земли, определяющих будущее состояние погоды. Из определения предмета изучения синоптической метеорологии вытекает следующее:

1) в сферу интересов синоптической метеорологии вовлечены только те метеорологические процессы, с которыми связано формирование и последующее изменение погодных условий;

2) синоптическая метеорология является практикоориентированной наукой, состояние развития которой имеет весомый экономический эффект в различных сферах народного хозяйства.

*Погода* – это состояние атмосферы в определенный момент или промежуток времени над конкретным фрагментом территории поверхности Земли. Погода, как известно, характеризуется совокупностью значений метеорологических величин и набором метеорологических явлений, важнейшими из которых являются давление, температура и влажность воздуха, ветер, облачность, видимость, атмосферные осадки, туман, гроза, шквал, гололед, метель, пыльная буря. При этом в понятие «погода» для различных категорий потребителей метеорологической, или погодной, информации зачастую вкладывается различное содержание, которое непременно учитывается составителями прогнозов погоды целевого назначения. Так, например, если для бытовых прогнозов, рассчитанных на широкий круг потребителей, на первое место выходят температура воздуха, осадки, ветер, то для морского транспорта особенно значимы ветер и видимость, для воздушного транспорта – облачность и её характеристики и видимость, для службы защиты населения от чрезвычайных ситуаций – возможные неблагоприятные и аномальные явления, для сельского хозяйства – атмосферные осадки и температура воздуха.

Какие же атмосферные процессы определяют погодные условия и составляют предмет синоптической метеорологии? Изменение погоды над конкретной территорией связано с нахождением или прохождением над ней образований синоптического масштаба, так называемых *синоптических объектов*. К их числу относятся:

а) воздушные массы;

б) атмосферные фронты;

в) циклоны и антициклоны;

г) высотные фронтальные зоны;

д) струйные течения.

По своей пространственной размерности они являются циркуляционными системами, т.е. звеньями общей циркуляции атмосферы. *Общая циркуляция атмосферы (ОЦА)* – планетарная система воздушных течений над земной поверхностью, горизонтальные размеры которой соизмеримы с материками и океанами, а толщина составляет от нескольких километров до десятков километров.

Поскольку наиболее влиятельные погодообразующие процессы развиваются в тропосфере и нижней стратосфере, вертикальный масштаб синоптических объектов в большинстве случаев составляет 1-10 км, горизонтальный – 100-1000 км. Временной масштаб определяется продолжительностью их существования и составляет от нескольких часов до нескольких суток. Исследования этих процессов опираются на физические законы, определяющие изменения свойств воздуха и его движение; при этом учитываются географическая широта места, обусловливающая количество поступающей солнечной энергии, и особенности подстилающей поверхности (суша с различным рельефом или водная поверхность моря), реализующей эту энергию.

Совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих синоптических объектов, выполняющих погодообразующую функцию над конкретным участком земной поверхности, составляет т.н. *синоптическое положение*.

Основным рабочим инструментом синоптической метеорологии является т. н. синоптический метод, имеющий аналитическую природу и прямо вытекающий из факта масштабности синоптических объектов. Синоптический метод – метод сопоставления и последовательного анализа метеорологической информации, графически зафиксированной на географических картах с помощью системы цифр и условных обозначений, с последующим формулированием прогноза условий погоды. Географические карты с подобной информационной нагрузкой называются картами погоды, или *синоптическими картами*.

Для корректного применения синоптического метода необходимо привлечение не только метеорологической, но и аэрологической информации, поэтому наряду с картами погоды, на которые наносятся данные о результатах наблюдений у поверхности Земли (т.н. приземные карты), применяются также высотные карты, составляемые для разных уровней в атмосфере – карты барической топографии.

В качестве вспомогательных средств, помимо карт, используются аэрологические диаграммы, вертикальные разрезы атмосферы, фотографии облачности, получаемые при телевизионной съёмке Земли с метеорологических спутников, данные наблюдений за облаками, осадками и другими явлениями погоды с помощью метеорологических радиолокаторов.

Исторически возникали различные варианты синоптического метода:

1) изобарический метод: преимущественное рассмотрение давления на уровне моря, состояние погоды при этом ставится в непосредственную зависимость от расположения и перемещения барических систем; был практически единственным синоптическим методом с 60-х гг. 19 в. до 20-х гг. 20 в., далее уступив место фронтологическому методу;

2) метод изаллобар: метод определения будущего барического поля (построения будущей карты изобар) с помощью карт изаллобар, т.е. карт изменений атмосферного давления во времени: путем экстраполяции определяются будущее положение и глубина областей падения и роста давления на карте изаллобар, а затем проэкстраполированное изаллобарическое поле складывается с барическим полем, т.е. с изобарами на карте за последний срок; таким образом, получается ожидаемое в дальнейшем (через 12-24 часа) барическое поле;

3) фронтологический метод: общепринятый в настоящее время метод синоптического анализа, в основе которого лежит: установление по синоптическим картам, аэрологическим диаграммам и пр. распределения, свойств и происхождения воздушных масс тропосферы; изыскание границ между ними – фронтов; определение перемещения и изменения свойств тех и других; анализ атмосферных возмущений (циклонов и антициклонов), возникающих на фронтах. Погода рассматривается при этом как функция расположения, свойств, перемещения и взаимодействия воздушных масс.

Ядром синоптического метода является синоптический анализ. Тем не менее, с учетом сложности, многофакторности и многозадачности современного погодного прогнозирования, методологический аппарат синоптической метеорологии триедин: помимо а) синоптического анализа, он включает в себя также: б) численные (гидродинамические) методы и в) статистические методы обработки и анализа данных.

*Численный, или гидродинамический метод* основан на решении систем уравнений гидродинамики. Точность прогнозов при эксплуатации этого метода прямо коррелирует с количеством и точностью информации, предоставляемой метеостанциями, а также возможностями вычислительной техники, определяющими скорость обработки данных.

*Статистический метод* основан на статистическом анализе прошлых состояний погоды на определенной территории. В зависимости от текущего состояния атмосферы, данный метод дает возможность спрогнозировать будущее состояние погоды на некоторый период времени, то есть определить наиболее вероятные изменения различных метеоданных в перспективе.

Основными принципами синоптического анализа являются:

1) комплексность, предполагающая наиболее полный из возможных охват массива метеорологических величин и атмосферных явлений;

2) трехмерность: синоптические объекты обладают трехмерной пространственной структурой, предполагающей использование разнонаправленных срезов данных (карт барической топографии, вертикальных разрезов атмосферы, аэрологических диаграмм), охватывающих практически всю толщу тропосферы и нижнюю стратосферу;

3) историческая последовательность: текущая синоптическая ситуация является следствием предшествующего развития атмосферных процессов;

4) репрезентативность: данные наблюдений станции должны отражать характерные признаки рассматриваемого процесса;

5) физическая обоснованность: атмосферные процессы и условия погоды, которые находят отражение на синоптических картах, являются отражением объективных физических процессов в атмосфере, поэтому если в результате анализа атмосферных процессов и условий погоды выявляются признаки, находящиеся в противоречии с основными законами физики атмосферы, их следует считать физически нелогичными и во внимание не принимать или, по крайней мере, ставить под сомнение целесообразность их учета.

В числе важнейших достоинств синоптического метода стоит упомянуть наглядность и оперативность. Известная дискретность метеорологической информации во времени и пространстве (по вертикали и горизонтали), обусловленная разрывами в сети станций и постов (например, в труднодоступных районах земного шара), на сегодняшний день представляется основным неустранимым недостатком синоптического метода. Существуют различные методы, позволяющие его частично компенсировать: интерполяция, экстраполяция, использование асиноптической информации – радиолокационных, спутниковых данных.

Изменения погоды в данном месте в предстоящие 1-2 суток определяются перемещением весьма обширных областей теплых и холодных воздушных масс с разделяющими их атмосферными фронтами, зонами осадков, сильных ветров и пр., а также изменениями этих объектов и возникновением новых. Скорости перемещения в среднем составляют около 40 км/час, а иногда достигают 80-90 км/час. Это означает, что через 24 часа в данное место могут придти явления погоды, которые в исходный момент наблюдаются на расстоянии 1000-2000 км. Следовательно, составляя прогноз погоды для данного пункта, хотя бы только на 24 часа, необходимо обладать информацией о состоянии атмосферы в радиусе до 2000 кмот этого пункта и знать, как оно изменится за время прогноза. Для составления прогноза на 48 часов радиус погодообразующей территории увеличивается до 20000 км. Именно поэтому сопоставление результатов одновременных наблюдений обширной сети метеорологических станций является незаменимой основой погодной прогностики.

В целом, для прогнозов погоды необходима информация трех категорий: а) фоновая (глобальная), б) региональная и в) локальная. Прием синоптического сопоставления заключается в сравнении значений одних и тех же или различных метеорологических величин, полученных по данным наблюдений на нескольких станциях или на одной станции в последовательные моменты времени. Сопоставляя положение и интенсивность барических образований и атмосферных фронтов на картах погоды за различные сроки, устанавливают направление и скорость их перемещения, а также оценивают тенденции в их эволюции.

*Синоптический прогноз* – это прогноз синоптического положения и условий погоды с помощью синоптического метода. Фактически, прогноз погоды структурно состоит из 2-х частей. Первая – это прогноз синоптического положения, и вторая – прогноз собственно условий погоды, которые определяются данным синоптическим положением. *Прогноз* погоды – это научно обоснованное предположение о будущем состоянии погоды в определённом месте (пункте или регионе), сделанное на определённый период времени. На основе изучения синоптических объектов вышеуказанной пространственной и временной размерности составляются прогнозы погоды на прогностический срок до 3-х суток. Прогнозы большей и меньшей заблаговременности основываются на использовании закономерностей иного масштаба и не входят в сферу интересов синоптической метеорологии как таковой.

В хозяйственной практике многих потребителей интересуют лишь отдельные составляющие погоды: это могут быть скорость и направление ветра, или температура воздуха, или отдельные явления погоды. В зависимости от специфики и сложности производственных операций возникает необходимость знания будущего состояния определенного комплекса метеорологических величин (двух-трех составляющих погоды). Например, прогноз скорости ветра, температуры воздуха и количества осадков, который используется в хозяйственной практике морских портов, электросистем (ЛЭП), открытых горных работ и т. п. При этом именно прогностическая информация занимает ведущее место в функциональной ценности всех видов метеорологической информации. Метеорологические прогнозы выступают в хозяйственной практике как природно-информационный ресурс, обеспечивающий оптимальные действия потребителя. Это позволяет минимизировать его издержки (потери, затраты) в случаях неблагоприятных воздействий погоды и максимизировать выгоды за счет благоприятных метеорологических условий.

Современные метеорологические прогнозы разрабатываются на основании преимущественно двух научных подходов, неотъемлемых от собственно синоптической методологической базы: статистического (физико-статистические исследования на базе синоптических данных) и гидродинамического, основанного на решении системы уравнений гидротермодинамики.

Второй подход играет все более значимую роль. В синоптической практике разработка прогнозов погоды выполняется с использованием численного прогноза метеорологических полей: давления воздуха у земной поверхности *(*р*0);* геопотенциальных высот (Н850, Н700, Н500 и др.); ветра (направление и скорость); температуры воздуха в нижней части тропосферы.

Непосредственная разработка ожидаемых условий погоды базируется на синоптическом методе, включающем анализ и прогноз перемещения воздушных масс, атмосферных фронтов, циклонов и антициклонов и их эволюцию.

Прогнозы погоды классифицируют по охвату территории:

1. *прогнозы по пункту* — ожидаемая погода в конкретном пункте в пределах района обслуживания (обеспечения);
2. *прогнозы по району* — ожидаемая погода во всем районе в виде прогнозов по отдельным частям его;
3. *прогнозы по маршруту* (трассе) — ожидаемая погода по пути следования транспортного средства на известном стандартном или заданном участке.

В зависимости от периода действия прогнозы погоды определяют следующим образом:

1) *наукастинг*, или *прогноз текущей погоды* – прогноз метеорологических параметров на срок от 0 до 2 часов;

1. *сверхкраткосрочный* прогноз – до 12 часов;
2. *краткосрочный* прогноз – от полусуток до 72 часов;

4) *среднесрочный* прогноз – на 3-10 суток;

5) *внутримесячный* прогноз *–* прогноз метеопараметров от 10 до 30 суток, обычно в виде отклонений от климатических величин;

1. *долгосрочный* прогноз – на период от 30 суток до 2 лет;
2. *сверхдолгосрочный* прогноз (*прогнозирование климата*) – на срок свыше 2 лет.

В зависимости от периода действия прогноза частота их составления различна. Сверхкраткосрочные прогнозы, разрабатываемые для авиации, составляются наиболее часто. Так, для крупного авиаметеорологического центра (АМЦ) число таких прогнозов исчисляется десятками в течение суток. Краткосрочные прогнозы разрабатываются, как правило, один раз в сутки с двумя 12-часовыми интервалами (ночь-день), если прогноз не требует детализации на полусуточный период.

В зависимости от интенсивности, производственной и социальной опасности ожидаемого гидрометеорологического явления экстренно разрабатывается *штормовое предупреждение.* Это могут быть: очень сильный ветер, в том числе шквалы, смерчи, очень сильные осадки, крупный град, сильная метель, сильная песчаная (пыльная) буря, очень сильные гололедные отложения, очень сильный продолжительный туман, сильное загрязнение атмосферы (смог) и другие. При угрозе возникновения опасного метеорологического явления штормовое предупреждение передается незамедлительно всем заинтересованным потребителям (производственным организациям), администрации (правительству) соответствующего субъекта. Наряду с штормовыми предупреждениями, согласно ложившейся погодной обстановки, применяется метод штормовых оповещений.

По назначению метеорологические прогнозы разделяются на два основных вида: *общие прогнозы погоды,* или *прогнозы общего назначения,* передаваемые для населения по радио, телевидению, помещаемые в газетах, и *специализированные* прогнозы, которые разрабатываются в прогностических подразделениях гидрометслужбы и предназначены для использования в отдельных отраслях экономики.

По степени точности метеорологические прогнозы делятся на два класса: методические и неметодические. *Методические прогнозы* являются результатом применения физически обоснованных методов, о которых говорилось выше (синоптического, гидродинамического, физико-статистического). *Неметодические прогнозы* не требуют разработки какой-либо методики или осуществления какой-либо аналитической или расчетной работы специалистом. Они применяются, когда в силу сложности развития синоптического процесса или по иной причине не могут выйти за уровень инерционного, случайного или климатологического прогноза. Современные оперативные метеорологические прогнозы являются методическими. По содержанию формулировки ожидаемой погоды методические прогнозы подразделяются на категорические и вероятностные.

*Категорическими* прогнозами называются такие, в которых указывается только градация прогнозируемой метеорологической величины или фаза явления погоды. По форме такие прогнозы содержат категорическое утверждение, которое в действительности не имеет 100%-ной обеспеченности. В таких прогнозах фаза ожидаемой погоды указывается в виде числа или интервала чисел (градации), в виде качественной характеристики (например, «слабый», «умеренный», «сильный») или альтернативы (наличие или отсутствие явления). Иначе говоря, категорические прогнозы содержат утверждение о конкретной фазе погоды и не содержат указаний, насколько вероятно такое утверждение. Категорические прогнозы будут *формальными,* если каждый раз прогнозируется одна и та же фаза погоды. Современные официальные прогнозы, как общего назначения, так и специализированные составляются пока преимущественно в категорической форме. Формулировка категорического прогноза включает ряд метеорологических величин и явлений погоды в соответствии с порядком, установленным техническим кодексом установившейся практики (руководящим документом).

*Вероятностными* прогнозами называются такие, в которых значению (градации, фазе) метеорологической величины приписывается ожидаемая их *достоверность,* выраженная в вероятностной форме. Формулировка каждого прогноза рассматривается с позиции вероятностной природы осуществления условий погоды и ее составляющих в отдельности. При возрастании качества вероятностного прогноза в пределе его ожидаемая достоверность стремится к уровню категорического утверждения, т. е. к 100%-ной вероятности возможного осуществления прогнозируемого условия погоды. Отсюда следует, что категорические прогнозы можно рассматривать как простейший вид, *частный случай* вероятностных прогнозов. Вероятностная форма прогноза является наиболее совершенной и приемлемой в целях оптимального использования прогностической информации в хозяйственной практике.

Специализированные прогнозы представляют собой основное содержание повседневной работы службы погоды. Время их составления и передачи регламентируются соответствующими соглашениями, которые устанавливаются между прогностическими подразделениями и потребителями прогнозов погоды. Однако прогнозы опасных и неблагоприятных условий погоды (ураганные ветры, наводнения, снегопады и сильные метели, сильные пыльные и песчаные бури и другие явления погоды), представляющих стихийные бедствия, должны передаваться для населения и организаций незамедлительно.

Многообразие требований, предъявляемых к прогнозам различными видами экономической деятельности, привели к существенному различию специализированных прогнозов между собой. Различается содержание прогноза по характеристике тех метеорологических элементов и явлений погоды, которыми интересуется данный вид деятельности. Так, в *авиационных прогнозах* в первую очередь обращается внимание на облачность, дальность видимости, туман, грозы; в *морских прогнозах* – на направление и скорость ветра, волнение на море; *в сельскохозяйственных прогнозах* - на количество осадков, увлажнение почвы, заморозки и т. д.

В некоторых прогностических подразделениях особое внимание уделяется прогнозам таких гидрометеорологических условий, которые вызывают опасные воздействия на производственный или природный объект. Это прогнозы обледенения морских и воздушных судов, горимости леса, лавиноопасности, селевых потоков, снегозаносов, цунами, наводнения в устьях рек, медико-метеорологических условий, загрязнения воздуха, условий зимнего выпаса скота (в районах отгонно-пастбищного животноводства), ледяной корки (в оленеводческих районах), температуры рельсов (для железнодорожного транспорта). Кроме того, разрабатываются прогнозы оптимального маршрута (пути) следования морского транспорта и рыбопромыслового флота.

Специализированные прогнозы могут быть *постоянными*, *сезонными* и *временными* (в течение нескольких дней, недель), разрабатываемыми для выполнения отдельных срочных и важных хозяйственных мероприятий. Кроме того, могут быть разовые *специализированные прогнозы по заявкам*. Консультации ряда организаций о предстоящей погоде также следует рассматривать как специализированные прогнозы, выраженные в более подробной, устной форме.

К специализированным прогнозам относятся и *штормовые предупреждения*, т.е. предупреждения о неблагоприятном или опасном метеорологическом явлении, составляемые в связи с угрозой их возникновения.

Прогнозы должны передаваться потребителю с достаточной для него заблаговременностью. *Заблаговременность* прогноза есть промежуток времени от момента передачи прогноза потребителю до начала осуществления прогнозируемого явления. С увеличением заблаговременности уменьшается успешность прогнозов. Минимум заблаговременности специализированных прогнозов устанавливается потребителем на основании опыта использования прогнозов, а максимум – прогностическим подразделением, исходя из существующих возможностей прогнозирования. Чем больше период действия прогноза, тем больше должна быть его заблаговременность. Так, долгосрочные прогнозы, например за месяц, сезон, имеют заблаговременность полмесяца, месяц. В случае долгосрочных прогнозов зачастую используется термин «прогнозы большой заблаговременности».

Разновидностями неметодического прогноза являются прогнозы инерционные, климатологические и случайные. *Инерционные прогнозы* – это прогнозы, в которых в качестве ожидаемого состояния погоды используется исходное, то есть в определенной мере используется свойство инерции атмосферных процессов. Любое исходное состояние погоды можно рассматривать как прогностическое. Это главным образом относится к метеорологическим величинам. Для таких явлений погоды, как гроза, шквал и подобных, которые имеют высокую пространственно-временную дискретность, свойство инерционности проявляется в малой степени. Однако в этом случае можно говорить об инерционности синоптической ситуации, отражающей формирование конвективных процессов и явлений.

Случайные прогнозы составляются без использования определенной методики. Случайно выбирается какая-либо градация метеорологической величины или явление и «назначаются» прогностическими. Иными словами, прогнозы составляются наугад, вслепую.

*Климатологические прогнозы* — это прогнозы, содержащие климатическую информацию в виде средних многолетних значений метеорологической величины, вероятностей осуществления ее заданных градаций или вероятностей явлений погоды. Здесь также не требуется специальная подготовительная работа синоптика. Климатологические прогнозы содержат одну и ту же формулировку. Такого рода информация содержится в справочниках, является доступной и постоянно известной как в повседневной синоптической, так и в хозяйственной практике. Климатологические прогнозы используются обычно при перспективном планировании. В соответствии с рекомендациями ВМО за климатическую норму основных метеорологических величин (температура, влажность, давление и др.) принимается средняя величина за 30-летний период.

Использование метеорологической информации осуществляется в комплексной системе «погода – прогноз – потребитель». Потребители прогностической метеорологической информации различаются не только по производственной специфике. Предприятия одной и той же отрасли находятся в различных климатических зонах и региональных условиях. Это существенно сказывается на различиях погодных условий, которые оказывают влияние на работу предприятий. С учетом характера воздействия погодных условий на проводимые хозяйственные мероприятия различают *стационарных* и *нестационарных*(подвижных) потребителей. Стационарные потребители (производственные объекты) могут быть *локальными, обширными (масштабными)* и *протяженными.* Так, морские порты как хозяйственные объекты являются стационарными и локальными потребителями, сельскохозяйственное производство и лесное хозяйство – стационарными и достаточно обширными, охватывающими большие площади. Линии электропередачи (ЛЭП) относятся к стационарным и обладающим значительной протяженностью потребителям.

Существует ряд специфических видов деятельности, где прогностическая информация является базовым условием выполнения текущих работ. Так, с учетом ожидаемой погоды проводятся природоохранные мероприятия в лесном хозяйстве: проведение лесопосадок, мероприятия в заповедных зонах, химическая обработка лесных насаждений, защита лесов от пожаров. Первостепенное значение приобретают прогнозы при проведении разведывательных работ: авиационного исследования залежей полезных ископаемых, ледовой разведки (на крупных реках, озерах и т.п.); при оценке миграций рыбных зон; проведении наземных, морских, ледовых и иных научно-исследовательских экспедиций в различных широтах земного шара.

Метеорологические условия оказывают многофакторное влияние на экономику и социальную сферу. При этом формируются три сферы зависимости от гидрометеорологических условий: *экономическая, экологическая* и *социальная*.

1. Экономическая зависимость. Проявляется в таких отраслях, как энергетика, сельское хозяйство, строительство и др.
2. Экологическая зависимость. Проявляется в образовании застойных зон в приземном слое и загрязнении других сред (почвы, воды, леса), что сказывается на состоянии здоровья людей.
3. Социальная зависимость. Проявляется в обеспечении населения сельскохозяйственной продукцией, что лимитируется погодой и климатом, в обеспечении его безопасности при стихийных бедствиях (ураганах, наводнениях и других ОЯ).

Как правило, такая зависимость будет комплексной, например, *социально-экологической.*

Первый в истории прогноз погоды был сформулирован 1 августа 1861 г. Робертом Фицроем и опубликован в газете Times. Самый первый телевизионный прогноз был выпущен в эфир 11 ноября 1936 г., также в Великобритании.

Вопросы прогноза погоды интересовали ученых давно. Постепенное накопление сведений о погоде и климате различных шпрот, начинная с эпохи Великих географических открытий (конец XIV в. — начало XV в.), а затем и изобретение приборов для измерения основных метеорологических величин (XVII – XVIII вв.), в первую очередь барометра, открыли путь к научному предсказанию погоды.

В середине XVIII в. М. В. Ломоносов (1711—1765 гг.), рассуждая о самостоятельных задачах метеорологии и о путях решения проблемы предсказания погоды, полагал, что решение проблемы прогноза погоды «от истинной теории о движении жидких тел около земного шара, т. е. воды и воздуха, ожидать должно. Одним и тем же причинам оба послушны».

Досиноптический период метеорологии (I) подготовил почву для развития синоптической метеорологии (II). В этот период были налажены систематические наблюдения за погодой на ряде станций во многих странах. Были открыты закономерности в распределении направлений ветра (пассаты), составлены первые карты ветров, а затем и первые схемы общей циркуляции атмосферы.

Развитие синоптической метеорологии началось в XIX в. Можно выделить несколько периодов, характеризующихся существенным совершенствованием либо средств анализа погоды, либо методов прогноза, либо тех и других одновременно. Естественно, что выделение периодов в развитии науки, как правило, носит условный характер. Периоды обычно не имеют четких границ. Часто в недрах одного периода зарождаются идеи, которые получают развитие лишь в следующем периоде. Кроме того, в разных странах развитие науки происходит по-разному. Таким образом, приведенную ниже периодизацию следует рассматривать как условную. Такая периодизация необходима для понимания некоторых важных вех в развитии синоптической метеорологии.

1. Подготовительный период (1826—1860 гг.) — от составления первых синоптических карт до организации регулярной службы погоды.

В 1826 г. в Германии Брандес опубликовал первые карты погоды, составленные по наблюдениям нескольких станций 24—25 декабря 1821 г. и 2—3 февраля 1823 г. На карты были нанесены лишь отклонения давления от нормы. Карты были весьма примитивными. На них отсутствовали контуры материков и какие-либо изолинии. В 1846 г. в США были опубликованы карты Лумиса, составленные по материалам наблюдений нескольких дней в 1842 г., на которых уже были нанесены более подробные характеристики погоды и проведены изолинии некоторых метеорологических величин. В последующем карты погоды эпизодически составлялись во многих странах и постепенно совершенствовались. В 1832 г. П. Л. Шиллингом в России был изобретен телеграфный аппарат. В 1843 г. К. Крейль в Праге впервые высказал идею о сборе метеорологических данных по телеграфу.

2. Начальный период (1860-1920 гг.) — от организации службы погоды до введения в оперативную работу анализа атмосферных фронтов. После бури, разразившейся на Черном море 14 ноября 1854 г. В район Балаклавской бухты и потопившей много кораблей англо-французского флота, действовавшего против России в период Крымской войны, французский ученый У. Леверье высказал мысль, что при наличии метеорологических данных эту бурю можно было предсказать. Этот вывод послужил толчком для организации сбора метеорологических данных и создания службы погоды в ряде стран. Однако международный обмен метеорологической информацией стал воз­можен только после заключения мира между Россией и Францией в 1856 г.

В организации службы погоды прежде всего был заинтересован морской флот, который в то время в значительной мере был парусным. Поэтому вначале служба погоды создавалась в приморских странах и первыми синоптиками были моряки. В морские порты в первую очередь посылались штормовые оповещения, а затем и штормовые предупреждения.

В 1860-1876 гг. по инициативе и при участии крупных ученых того времени служба погоды была организована в большинстве стран: во Франции — Леверье (с 1857 г. издание бюллетеня погоды, с 1863 г. прогнозы штормов); в Голландии — Бейс-Балло (1860 г.); в Англии — Фицрой (1861 г.), который впервые ввел термин «синоптическая карта»; в Италии — Маттеучи (1865 г.); в Норвегии — Мон (1866 г.); в США — Аббэ и Майер (1870 г.); в Дании — Гофмеир (1872 г.); в Германии — Кеппен-Ван-Беббер (1876 г.).

Официальной датой начала функционирования службы погоды в России считается 1 января 1872 г., когда в Главной физической обсерватории (ГФО), основанной в 1849 г. (ныне Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова), начался регулярный выпуск ежедневного бюллетеня погоды. Однако в ГФО еще в 1856 г. был начат прием метеорологических телеграмм от 13 русских и 5 зарубежных станций. В 1864 г. было опубликовано исследование Ф. Миллера «О предупреждении бурь, в особенности о бурях, свирепствовавших с 1 по 4 декабря 1863 г.», а в 1867 г. послано первое штормовое оповещение.

Первое штормовое предупреждение было дано в 1874 г. В 1889 г. издано первое пособие по синоптической метеорологии М. М. Поморцева. Начиная с 1890 г., налажено регулярное предупреждение управлений железных дорог о метелях и снежных заносах, что в климатических условиях России имело особо важное значение. Наибольший вклад в развитие синоптической метеорологии в России в этот период внесли М. А. Рыкачев, П. И. Броунов, Б. И. Срезневский.

В первый период были выявлены общие закономерности перемещения циклонов и антициклонов и разработаны первые приемы прогноза погоды. Преимущественное внимание уделялось анализу барических систем, так как закономерности барического поля легко обнаруживались даже на несовершенных картах погоды того времени. Широкое распространение получила конвективная теория циклонов, термическая теория циклонов).

Однако многие открытия и гениальные догадки не получили раз­вития в то время. Так произошло с атмосферными фронтами. Напри­мер, холодные фронты долгое время представлялись как волны холода (Спасский, 1845 г.; Срезневский, 1875 г.; Рыкачев, 1879 г.). Не получили развития и идеи о возникновении циклонов на границе теплых и холодных воздушных потоков, вы­сказанные Довэ еще в 1837 г., Спасским в 1847 г., Фицроем в 1863 г. и Миллером в 1864 г.

В этот период, однако, начали закладываться основы для после­дующих этапов развития синоптической метеорологии. Были полу­чены формулы наклона фронтальной поверхности (Гельмгольц, 1889 г.; Маргулес, 1906 г.) и разработаны принципы метода бариче­ской топографии (В. Бьеркнес, 1910- 1912 гг.). Был даже проведен первый, хотя и неудачный, опыт численного гидродинамического прогноза погоды (JI. Ричардсон, 1922 г.).

Во время первой мировой войны 1914-1918 гг. обмен метеороло­гической информацией между странами был нарушен. Однако в нейтральных Скандинавских странах в этот период была создана достаточно густая сеть метеорологических станций, что позволило составлять более подробные карты погоды. По этим картам ученым удалось обнаружить фронтальные разделы между воздушными мас­сами, а также увязать возникновение и развитие циклонов с фрон­тами.

В 1918-1928 гг. группой ученых Бергенской синоптической школы (Я. Бьеркнес, С. Сульберг, Т. Бержерон) под руководством В. Бьеркнеса были заложены основы новой фронтологической си­ноптики. Первоначально эти основы наиболее полно применительно к практическим прогностическим задачам были изложены в труде Т. Бержерона «Трехмерносвязный синоптический анализ», опубли­кованном в 1928 г.

3. Переходный период (1920-1940 гг.) – введение в оператив­ную работу анализа атмосферных фронтов и результатов радио­зондировании атмосферы. Советские ученые одними из первых (на­чиная с 1922 г.) стали изучать и развивать работы Бергенской сино­птической школы. В 1926 г. была издана брошюра А. И. Аскназия с изложением новых понятий фронтологической синоптики. В мо­сковском бюро погоды были проведены первые опыты фронтологического анализа карт погоды. В 1930 г. на курсах работников службы погоды читал лекции Т. Бержерон. Начиная с 1930 г, фронтологический анализ карт погоды прочно вошел в практику работы синоп­тиков советской службы погоды.

В этот период получила дальнейшее развитие теория атмосфер­ных фронтов и циклопов, разработано учение о трансформации воз­душных масс (А. И. Аскназий, С. П. Хромов, А. Ф. Дюбюк и др.). Выдающиеся теоретические исследования, сохранившие свое значение до настоящего времени, были выполнены А. А. Фридманом (1897—1934 гг.) и Н. Е. Кочиным (1901-1944 гг.). Первое широкое обобщение и систематическое изложение основ новой синоптики было дано в труде С. П. Хромова «Введение в синоптический анализ» (1934 г.).

Изобретение П. А. Молчановым радиозонда в 1930 г. открыло но­вую эпоху в развитии синоптической метеорологии. Изучение вер­тикального строения атмосферы стало возможным не косвенными методами (по данным наземных наблюдений), а по результатам ра­диозондирования атмосферы. Была создана сеть аэрологических станций и началось составление первых карт барической топографии в научных целях. С 1937 г. карты барической топографии стали составлять ежедневно. Большая заслуга в развитии этого направле­ния принадлежит Н. Л. Таборовскому, X. П. Погосяну, В. А. Бу­гаеву в Советском Союзе и Р. Шерхагу в Германии. Много сделали эти ученые и по внедрению метода барической топографии в прак­тику оперативной работы.

Задачи, поставленные декретом Совета Народных Комиссаров об организации метеорологической службы, подписанным В. И. Ле­ниным в 1921 г., в этот период были существенно расширены. В 1929 г. организована единая Гидрометеорологическая служба страны, орга­низованы новые метеорологические станции и подразделения службы погоды. В 1930 г. в Москве открыто Бюро погоды СССР, преобра­зованное впоследствии в Центральный институт погоды и далее в Гидро­метеорологический научно-исследовательский центр СССР. Про­гнозы погоды стали более конкретными, детальными и в значитель­ной мере количественными. Широко развернулось метеорологическое обеспечение авиации, в том числе путем систематической передачи по радио информации о погоде.

В этот период началось систематическое изучение Арктики. В 1937 г. была создана первая дрейфующая станция «Северный полюс».

Возникшую острую проблему кадров средней и высшей квалифи­кации уже нельзя было решить путем организации кратковременных курсов. В 1930 г. был создан Московский (в последующем Ленинградский) гидрометеорологический институт — первый в мире специализиро­ванный вуз по подготовке специалистов высшей квалификации, а в 1932 г. — Харьковский (в последующем Одесский) гидрометеорологический институт. Подготовка специалистов-метеорологов осуществлялась также и в некоторых университетах. Специалистов средней квали­фикации стали готовить гидрометеорологические техникумы.

4. Новый период (1940—1960 гг.) — широкое, оперативное применение высотных карт погоды и численных методов прогноза. Именно в этот период благодаря широкому оперативному применению карт барической топографии синоптический анализ атмосферных процессов стал подлинно трехмерным. Это позволило детальнее изучить строение не только циклонов и антициклонов в различных стадиях их развития, но и таких синоптических объек­тов, как высотные фронтальные зоны и струйные течения. Синопти­ческий анализ стал более глубоким, а прогноз синоптического поло­жения получил дальнейшее значительное физическое обоснование. Были установлены связи перемещения и эволюции барических систем с особенностями поля воздушных течений (С. И. Троицкий, В. М. Михель, А. Ф. Дюбюк). В 1940-е годы X. П. Погосян и Н. Л. Таборовский установили ряд количественных эмпирических критериев для прогноза развития цик­лонов и антициклонов по интенсивности высотной фронтальной зоны.

Несмотря на тяжелые последствия войны, в СССР синоптические исследования атмосферных процессов, успешно начатые в 1930-е годы, активно продолжались. Особое внимание уделялось атмосферным фронтам, циклонам и антициклонам, общей циркуляции атмосферы, орографическим влияниям на атмосферные процессы. Большое раз­витие получила региональная синоптика и авиационная метеороло­гия. Наряду с упомянутыми ранее учеными в этих исследованиях принимали участие ученые различных поколений: С. П. Хромов, А. Ф. Дюбюк, Б. Л. Дзердзеевский, А. С. Зверев, И. Г. Пчелко, Е. Г. Зак, К. Г. Абрамович, В. А. Джорджио, В. А. Бугаев, Б. Д. Ус­пенский, И. П. Ветлов, И. А. Клемин, Н. В. Петренко, Г. Д. Зубян и многие другие. В эти годы появилось много научно-исследователь­ских учреждений, из которых первое место принадлежало Централь­ному институту прогнозов.

Изменился характер синоптических исследований. Они стали опираться на более прочную теоретическую основу. Теоретические исследования в области синоптической и динами­ческой метеорологии продолжались в трудах Н. Е. Кочина, А. М. Обу­хова, И. А. Кибеля, А. С. Монина и других ученых в Советском Союзе и в трудах многих ученых за рубежом.

В 1940 г. была опубликована работа И. А. Кибеля, посвященная оперативному расчету локальных изменений давления и темпера­туры. Эта работа и последующие исследования Кибеля послужили толчком для развития численных (гидродинамических) методов прогноза. Несколько другое решение для прогноза перемещения высотных гребней и ложбин (волн давления) было получено Росби в 1939 г. Замечательные опыты по численному долгосрочному прогнозу были начаты в 1943 г. Е. Н. Блиновой. В начале 1950-х годов, главным образом благодаря исследованиям Н. И. Булеева, Г. И. Марчука, А. М. Обухова, М. И. Юдина в Совет­ском Союзе, а также Фьертофта, Чарни, Бушби, Филлипса, Шумана и др. за рубежом, численные методы стали быстро развиваться, чему способствовало применение для расчетов ЭВМ.

5. Новейший период (1960 г. – 2000 г.) — использование спутниковой метеорологической информации и широ­кое применение в оперативной работе гидродинамических методов прогноза. Запуск в Советском Союзе первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. открыл исключительные принципиальные возможности получения различного рода новой информации, в том числе метеорологической.

В конце 1960-х годов в Советском Союзе и США были созданы метео­рологические космические системы, информация которых с этого времени используется в оперативной работе службы погоды. Было налажено систематическое получение фотографий облачности в лю­бое время суток практически для любой территории земного шара. Это позволило более объективно проводить синоптический анализ, особенно на территории, слабо освещенной метеорологическими дан­ными, своевременно выявлять особо опасные тропические циклоны и т. д. По смонтированным спутниковым фотографиям были выявлены особенности облачных систем различного масштаба, связанных с теми или иными синоптическими объектами. Продолжалось совершенствование схем численного прогноза путем отказа от упрощенных моделей атмосферы. Поскольку успешность прогностических высотных карт, рассчитанных числен­ными методами с помощью ЭВМ, достигла успешности прогностиче­ских карт, составленных опытным метеорологом синоптическим методом, с 1962 г. в СССР высотные прогностические карты полу­чают только численными методами, которые свободны от субъектив­ных ошибок.

Усилилось изучение общей циркуляции атмо­сферы, в том числе проблемы взаимодействия океана и атмосферы, для целей создания и совершенствования долгосрочных прогнозов погоды. Первые систематические долгосрочные прогнозы погоды синоптическим ме­тодом начал составлять Б. П. Мультановский еще в 1922 г. В даль­нейшем это направление развивали С. Т. Пагава, A. JI. Кац и другие исследователи в Центральном институте прогнозов. Другое синоптическое направление развивалось в трудах Г. Я. Вангенгейма и А. А. Гирса в Арктическом и антаркти­ческом научно-исследовательском институте. Несомненно, долгосрочные прогнозы погоды для такой важней­шей отрасли народного хозяйства, как сельское, гораздо важнее, чем краткосрочные прогнозы. К сожалению, успешность долго­срочных прогнозов погоды еще существенно ниже успешности крат­косрочных прогнозов, что объясняется большой сложности проблемы.

6. Современный период – период абсолютной коммуникации (начало XXI в.).

Синоптический метод — метод анализа и прогноза атмосферных процессов и условий погоды — требует быстрого получения метеорологической информации с большой территории, поэтому во всех странах земного шара значительное внимание уделяется сбору и распространению информации в пределах страны, региона, полушария. В любой стране мира существуют специальные государственные организации (метеорологические службы), располагающие сетью станций и научных метеорологических учреждений.

Наличие своевременной, полной и объективной гидрометеорологической информации является обязательным условием устойчивого развития государства. Учет складывающихся и ожидаемых погодных условий, своевременное реагирование на предупреждения о неблагоприятных и опасных гидрометеорологических явлениях позволяет сберечь материальные, в том числе производственные и общественные ценности, а иногда и жизни людей. Успешное решение задачи обеспечения гидрометеорологической безопасности во многом определяется качеством и заблаговременностью выпускаемой прогностической гидрометеорологической продукции, оперативностью ее распространения. В связи с этим очевидна важность задачи подготовки специалистов в области прогнозирования погоды.

**Часть 2**

Метеорологической информацией называется совокупность све­дений о состоянии атмосферы или о состоянии отдельных метеорологических величин.

Различают два вида метеорологической информации:

1)   первичную информацию о текущей погоде, непосредственно получаемую в результате метеорологических наблюдений;

2)    вторичную информацию — информацию о наблюдавшейся по­годе в виде различных сводок, синоптических карт, аэрологических диаграмм, вертикальных разрезов, карт облачности, полученных по спутниковым наблюдениям, и т. д.

Правильность анализа атмосферных процессов и успешность составляемых прогнозов в значительной степени зависят от качества и своевременности поступления первичной метеорологической ин­формации.

При решении задачи составления метеорологических прогнозов атмосфера должна рассматриваться как сложная система, состоя­ние которой характеризуется рядом параметров, рассматриваемых в комплексе. В этот комплекс включаются атмосферное давление, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, продукты конденсации (облачность, осадки, туманы и т. д.), раз­личные атмосферные явления (грозы, пыльные бури и т. д.). Боль­шинство этих параметров измеряется непосредственно или опреде­ляется визуально (например, количество облаков и их форма); не­которые же из них можно получить только путем расчетов (верти­кальная составляющая движения воздуха).

Комплекс измеряемых или наблюдаемых параметров опреде­ляется двумя обстоятельствами: 1) оптимальностью числа пара­метров, необходимых для обоснованного анализа состояния атмо­сферы, и 2) особенностями потребителя.

Когда речь идет об интересах потребителей, как правило, мы имеем дело с вторичной метеорологической информацией. Исход­ный же состав первичной информации в своей основе остается еди­ным для прогностического подразделения любого назначения, общего или специализированного. Так, например, сведения об облач­ности не важны для железнодорожного транспорта, но очень важны для авиации. Это, однако, вовсе не означает, что первичная инфор­мация об облачности не используется при составлении прогнозов для железнодорожного транспорта. Дело в том, что облачность является одним из важнейших показателей при анализе развития атмосферных процессов, а, следовательно, и при составлении про­гноза, в том числе и для железнодорожного транспорта.

Существенным для службы погоды является определение опти­мальной частоты и плотности наблюдений, под которой понимается плотность измерительной сети. Исходными данными для решения этой крайне сложной задачи являются масштабно-временная струк­тура интересующих нас атмосферных процессов, заблаговременность и время действия прогнозов, технические возможности и экономиче­ские соображения.

Синоптические станции должны отвечать определенным условиям и только в этом случае они могут выполнять свое назначение. К этим условиям относятся:

1)    точное определение географической широты и долготы стан­ции, а также высоты ее над уровнем моря (последнее условие вызвано тем, что для сравнимости анализа измеренное на каждой станции давление приводится к уровню моря);

2)    обслуживание станции квалифицированным персоналом, спо­собным производить как инструментальные измерения, так и ви­зуальные наблюдения;

3)    оснащение станции необходимым минимумом стандартных поверенных приборов;

4)     проведение наблюдений по однотипной программе и в опреде­ленном порядке, согласованным с международными метеорологи­ческими организациями;

5)    оснащение станций совершенными средствами связи (телефон, телеграф, радио) для немедленной передачи результатов наблюдений в установленные адреса (иначе даже самые точные наблюдения, пригодные, например, для климатологических целей, полностью теряют свое значение для службы погоды);

6)     репрезентативность станции (наблюдения станции должны быть характерными для данного района).

Синоптические станции наземной сети проводят синхронные метеорологические наблюдения в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 час всемирного скоординированного времени. Сроки 00, 06, 12 и 18 час назы­ваются основными синоптическими сроками. Остальные сроки на­зываются дополнительными.

Аэрологические станции, входящие в наземную сеть, произво­дят зондирование атмосферы в 00, 06, 12 и 18 час всемирного скоординированного времени. Основными в данном случае являются сроки 00 и 12 часов.

Синоптические (аэрологические) станции рассеяны но всему земному шару. Для того чтобы установить, к какой станции отно­сятся результаты наблюдений, каждой из них присвоен пятизнач­ный номер, называемый индексом станции. Первые две цифры означают номер большого географического района, в котором рас­положена синоптическая (аэрологическая) станция. Последние три цифры — это порядковый номер станции в пределах данного района. На бланках карт порядковый помер синоптической станции помещен рядом с кружком, обозначающим станцию.

Результаты наблюдений синоптических и аэрологических стан­ций кодируются цифрами и отправляются в установленные адреса в виде телеграмм, состоящих из нескольких пятизначных групп. Кодирование результатов наблюдений производится в соответствии с существующими документами — международными метеорологиче­скими кодами, согласованными между большинством государств мира. Подробно эти вопросы рассматриваются на практических занятиях.

Синоптические и аэрологические станции, принадлежащие дан­ному государству, образуют государственную наземную синоптиче­скую сеть. Часть станций государственной сети каждой страны задейство­вана в международном масштабе. Они образуют международную синоптическую сеть. В настоящее время международная синоптиче­ская сеть включает около 10000 синоптических станций.

Наземная сеть синоптических станций в настоящее время яв­ляется основной системой получения метеорологической информации. Наблюдения на синоптических станциях отличаются большой точ­ностью н комплексностью. Эти станции осуществляют программу наблюдений в полном объеме. Наблюдения на них проводятся ре­гулярно н строго выдерживается синхронность.

Постоянное совершенствование системы сбора информации позво­лит в значительной степени увеличить оперативность передачи метеорологических данных потребителю. Еще более широкие воз­можности открываются при автоматизации наземной сети, т. е. внедрении системы автоматических или полуавтоматических синопти­ческих станций. Однако наземная сеть не лишена некоторых серьезных недостат­ков, к которым прежде всего относятся недостаточная плотность сети станций в ряде районов земного шара и дискретность наблю­дений. При анализе непрерывного поля давления дискретность не играет существенной роли, однако при анализе поля облачности и таких локальных и кратковременных явлений, как ливни, грозы, град и др., дискретность наблюдений является существенным недо­статком

*Метеорологические данные*– это значения физических величин, характеризующих состояние атмосферы. Выделяются следующие *виды метеорологических данных*:

1. метеорологические,
2. аэрологические,
3. агрометеорологические,
4. актинометрические,
5. градиентные,
6. озонометрические,
7. наблюдения за уровнями загрязнения природных компонентов (атмосферного воздуха, атмосферных осадков, снежного покрова)

В состав метеорологических данных включаются сведения о температуре воздуха, атмосферном давлении, влажности воздуха, атмосферных осадках, облачности, скорости и направлении ветра, температуре почвы, испарении, метеорологической дальности видимости и др. в приземных условиях. Аэрологические данные охватывают параметры температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, направления и скорости ветра в свободной атмосфере. Агрометеорологические – метеорологические сведения для нужд сельского хозяйства. Актинометрические данные касаются продолжительности солнечного сияния и элементов радиационного баланса земной поверхности. Градиентные данные – это результаты теплобалансовых наблюдений за земной поверхностью. Озонометрические – за содержанием озона в атмосфере.

Метеорологические данные всех видов по степени оперативности предоставления делятся на *два класса*: 1) оперативные данные – оформляются и отправляются по каналам связи в виде срочных телеграмм, 2) режимные данные – сводятся в книжки наблюдений и в последующем пересылаются почтой. В настоящее время оперативная и режимная информации поступают в центры обработки данных всё более и более оперативно, постепенно сливаясь в единый информационный поток.

Для целей последующей обработки выделяются также *типы метеорологических данных*:

*I* – числовой, целый (балльная оценка метеорологических величин);

*R* – числовой, необязательно целый (результаты измеренияметеорологических величин);

*C* – символьный, или текстовый (названия или сведения в символьной или текстуальной форме);

*В* – логический (сведения о наличии либо отсутствии явлений).

Массивы метеорологических данных упорядочиваются: а) в пространстве, б) во времени. Пространственное упорядочивание производится в рамках определённых систем пространственных координат. По вертикали это могут быть геометрические высоты, геопотенциальные высоты, уровни изобарических поверхностей и др. Координаты точек на земной поверхности изображаются широтой и долготой; используются координатные номера, которые составляются из значений широты и долготы пункта наблюдений. В общем случае данные могут быть упорядочены по значениям широты и долготы, по значениям линейных номеров (соответствующих имени станции и линейному номеру установленного списка). Временное упорядочивание осуществляется посредством использования и координации следующих *систем счета времени*:

1. местное время (звездное или солнечное),
2. всемирное скоординированное время,
3. поясное время,
4. сезонное время.

Метеорологические элементы имеют ясно выраженный суточный ход, зависящий от суточного движения земли. Поэтому для обеспечения их сопоставления на всех метеорологических станциях производятся наблюдения за метеорологическими процессами при одинаковом положении Солнца относительно плоскости меридиана данного пункта.

Временное упорядочивание метеорологических данных предполагает также необходимость учёта того обстоятельства, что изменения гидрометеорологических величин могут быть как (случайными) спонтанными, так и с некоторым периодом изменений. Выделяют девять *периодов колебаний гидрометеорологических величин:*

1) микрометеорологические колебания с периодами от долей секунды до минут;

2) мезометеорологические колебания, соответствующие периодам от минут до часов;

3) синоптические колебания с периодами от нескольких часов до нескольких дней;

4) глобальные колебания с периодом от недели до месяцев;

5) сезонные колебания – колебания с годовым периодом и их гармоники;

6) межгодичные колебания;

7) внутривековые колебания;

8) межвековые колебания;

9) ледниковые периоды плейстоцена.

Эта сводка масштабов показывает, насколько должен быть широк диапазон требований к точности, пространственному и временному разрешению наблюдений и длительности периодов, за которые необходимы сведения об атмосфере.

Метеорологические данные должны соответствовать ряду требований, а именно:

1. пространственное и временное разрешение,
2. точность,
3. полнота (достаточность данных для принятия решений или для создания новых данных на основании уже имеющихся),
4. достоверность (отсутствие т. н. «информационного шума», заглушающего истинные данные),
5. адекватность (степень соответствия реальному объективному состоянию),
6. однородность,
7. репрезентативность (сравнимость),
8. актуальность (соответствие текущему моменту времени),
9. доступность.

*Способы получения метеоданных*, т. е. способы измерения физической величины, можно разделить на два класса: а) прямое измерение прибором, находящимся непосредственно в точке измерения и б) дистанционное зондирование.

Вся история метеорологии как научных дисциплин была неразрывно связана с созданием и последующим совершенствованием средств и способов получения метеорологической информации – то есть измерительных приборов и устройств и методов измерения, позволяющих произвести количественную и качественную оценку физических процессов и явлений, происходящих в природе.

В зависимости от способа получения показаний метеорологические приборы бывают: 1) измерительными (показывающими) и 2) регистрирующими (самопишущими). Измерительные приборы предусматривают визуальное получение показаний с помощью отсчетного устройства, которое позволяет определить значение измеряемой величины. В большинстве гидрометеоприборов отсчётное устройство состоит из шкалы и стрелки. Регистрирующие приборы автоматически записывают показания на движущей ленте, барабане и т. п. В некоторых из них предусмотрена также возможность визуального отсчёта показаний.

Комбинирование видов измерительной и регистрирующей техники и отбор определённых методов получения информации приводит к формированию так называемых *систем получения метеорологической информации*, или систем наблюдений.

Системы наблюдений можно классифицировать по типам платформ:

1) наземная система наблюдений: состоит из сети обсерваторий, станций и постов, расположенных на суше. Как правило, они ведут наблюдения по согласованной методике с помощью аттестованных технических средств.

Наиболее развитой системой наземных наблюдений является система, координируемая Всемирной метеорологической организацией, включающая в себя десятки тысяч обсерваторий, станций и постов, которые осуществляют наблюдения за состоянием воздушной оболочки Земли, а также температурным и влажностным режимами почв. В рамках наземного изучения природной среды широко применяются стационарные и экспедиционные исследования, в результате которых осуществляется разработка новых методик, приборов и оборудования для наземных измерений.

2) надводная (морская, океаническая) система наблюдений: обеспечивает измерения с судов погоды, научно-исследовательских судов, плавмаяков, океанографических буйковых станций и т. д;

3) воздушная (авиационная) система наблюдений: наблюдения осуществляются с самолетов, вертолетов, аэростатов, баллонов постоянного уровня, дрейфующих в атмосфере;

4) космическая система наблюдений: состоит из средств определения параметров окружающей среды, установленных, в основном, на искусственных спутниках Земли.

Метеорологический спутник − это летающая автоматическая лаборатория, оборудованная сложной электронной аппаратурой наблюдения, запоминания и передачи данных. Такой спутник позволяет получить информацию о погоде в планетарном масштабе за достаточно короткий срок. Искусственные спутники обеспечивают принципиально новое качество исследований, а также позволяют регулярно обследовать водные пространства планеты и малодоступные районы суши, в пределах которых очень мало пунктов гидрометеорологических наблюдений. Различают геостационарные спутники и спутники с приполярной орбитой. Геостационарные спутники запускаются на орбиту, лежащую в плоскости экватора, и их скорость вращения синхронизируется со скоростью вращения Земли. Таким образом, геостационарный спутник может получать информацию с одной и той же территории Земли. Спутники с приполярной орбитой запускаются на орбиту с такими параметрами, чтобы за сутки дважды получить информацию со всех участков планеты. На сегодняшний день именно космическая система наблюдений поставляет основной объем оперативной информации, однако значение наземной системы наблюдений по-прежнему исключительно высоко. Главными преимуществами данных космической съемки природных образований являются большая обзорность, позволяющая изучать особенности природных явлений на обширных территориях и возможность комплексного анализа изучаемых явлений.

По скорости и интенсивности получения данных системы наблюдения можно разделить на: 1) оперативные, 2) неоперативные. В зависимости от способа регистрации получаемых данных выделяются системы: 1) с автоматической регистрацией данных, 2) с «ручными контактными» наблюдениями по приборам. При автоматической регистрации данные сразу попадают на технический носитель, благодаря чему значительно улучшаются условия для автоматизации всего процесса обработки данных.

Началу международному сотрудничеству в области метеорологии было положено на Второй метеорологической конференции в Лейпциге в 1872 г. и на первом метеорологическом конгрессе, состоявшемся в Вене в сентябре 1873 г. На этом конгрессе была создана Международная метеорологическая организация, преобразованная в 1947 году во Всемирную международную организацию — ВМО. ВМО — специализированное учреждение Организации Объединенных Наций. Она осуществляет обмен метеорологическими данными между службами всех стран, следит за соблюдением единой методики, заботится о распространении результатов научно-методических исследований и обмене ими. В ВМО входят шесть региональных ассоциаций, отвечающих за координацию метеорологической и гидрологической деятельности: «Африка», «Азия», «Южная Америка», «Северная Америка, Центральная Америка и Карибский бассейн», «Юго-западная часть Тихого океана» и «Европа». Президенты региональных ассоциаций являются членами Исполнительного Совета.

Беспрецедентным явлением в области сбора гидрометеорологических данных является деятельность Всемирной службы погоды (ВСП). Основными *задачами ВСП* на сегодняшний день являются: 1) расширение международного сотрудничества в области сбора и обработки гидрометеорологической информации в пределах всего земного шара, включая данные со спутников; 2) расширение международного обмена данными и улучшение на этой основе методов гидрометеорологических прогнозов, 3) развитие работ по искусственному воздействию на погоду.

Всемирная служба погоды имеет глобальный характер, поскольку охватывает все страны и континенты, моря и океаны, а также космическое пространство. *Структурными элементами ВСП* являются:

а) Глобальная система наблюдений,

б) Глобальная система телесвязи, состоящая из устройств и средств, необходимых для быстрого сбора и распределения требуемых данных наблюдений и обработанной информации,

в) Глобальная система обработки данных состоящая из гидрометеорологических центров, оснащенных средствами обработки данных для оперативного использования, хранения и поиска данных для неоперативного использования.

Глобальная система обработки данных базируется на трех мировых гидрометеорологических центрах (Вашингтон, Москва, Мельбурн), на 23 региональных метеорологических центрах и на национальных метеорологических центрах. На территории СНГ работает четыре региональных гидрометеорологических центра: в Москве (Московский центр одновременно выполняет роль и мирового центра гидрометеорологических данных), Новосибирске, Ташкенте и Хабаровске.

Важнейшим звеном системы автоматизированной обработки данных являются именно региональные гидрометеорологические центры. Каждый из них несёт ответственность за сбор и обработку всей гидрометеорологической информации по определенной территории (региону). Кроме того, наряду с информацией по своей территории, каждый региональный центр собирает данные по некоторым сопредельным территориям, а также данные спутников. Региональные центры осуществляют взаимный обмен некоторыми видами данных.

Развитие процессов интеграции между Республикой Беларусь и Российской Федерацией, охватывающих основные направления экономической деятельности, обеспечения безопасности стран, их социально-экономического развития предполагает, в первую очередь, объединение тех областей деятельности, которые обеспечивают устойчивое функционирование интегрируемых сфер деятельности. Одной из таких сфер является деятельность в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды. Эффективное обслуживание гидрометеорологической информацией и данными о состоянии загрязнении природной среды, содержащими сведения о фактических и прогнозируемых погодно-климатических условиях, об ожидаемых стихийных гидрометеорологических явлениях и высоких уровнях загрязнения природной среды – необходимое условие нормальной работы практически всех отраслей экономики, обеспечения обороноспособности, а также безопасных и благоприятных условий проживания населения и своевременной его защиты от стихийных бедствий. Это особенно важно и в связи с тем, что гидрометеорологические процессы зачастую развиваются очень динамично, не имеют «государственных границ», а правильная интерпретация гидрометеорологических данных и процессов требует использования информации с больших территорий, далеко выходящих за пределы административных границ. Именно поэтому одним из первых Соглашений, заключенных после распада Советского Союза образовавшимися независимыми государствами, было Соглашение о взаимодействии в области гидрометеорологии (Москва, 8 февраля 1992г.)

Аналогично и в Договоре об образовании Сообщества Беларуси и России (2 апреля 1996 г.) была поставлена задача «…создание единой метеорологической службы» (ст. 12). В развитие этих положений в Договоре о создании Союзного государства (8 декабря 1999 г.) установлено, что гидрометеорологическая служба относится к исключительному ведению Союзного государства (ст.17).

В порядке реализации положений Договора об образовании Сообщества Беларуси и России и в целях организации и обеспечения совместной деятельности Республики Беларусь и Российской Федерации в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды Государственный комитет по гидрометеорологии Республики Беларусь (Госкомгидромет Республики Беларусь) и Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) выступили с инициативой образования Комитета Сообщества по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды в качестве органа Сообщества. Эта инициатива была поддержана Исполнительным Комитетом Сообщества Беларуси и России, и 18 декабря 1996 г. Исполком утвердил Положение о Комитете Сообщества Беларуси и России по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды. После заключения Договора о Союзе Беларуси и России, Комитет Сообщества был переименован в Комитет Союза Беларуси и России, а затем постановлением Совета Министров Союзного государства от 25 января 2002 г. №6 - в Комитет Союзного государства по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды (далее по тексту – Комитет).

Положением о Комитете определено: «Комитет Союзного государства по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды является органом Союзного государства, осуществляющим на межгосударственном уровне организацию и координацию деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях (метеорологии, климатологии, гидрологии, агрометеорологии, гелиогеофизики), мониторинга загрязнения природной среды, а также обеспечения органов государственного управления, населения, экономики и вооруженных сил Республики Беларусь и Российской Федерации данными и информацией о фактических и прогнозируемых погодно-климатических условиях, состоянии и загрязнении природной среды». Комитет в своей деятельности руководствуется решениями Высшего Государственного Совета, Парламентского Собрания, Совета Министров и Постоянного Комитета Союзного государства, нормативными правовыми актами Республики Беларусь и Российской Федерации в части, касающейся их конкретных территорий, и осуществляет ее во взаимодействии с другими органами Союзного государства.

Для руководства деятельностью Комитета образована совместная коллегия в количестве 10 человек. В состав коллегии входят: председатель и заместитель председателя коллегии, а также по четыре члена коллегии, назначаемых на паритетной основе от каждой стороны.

Основными целями и задачами Комитета является создание условий последовательного поэтапного перехода к единой гидрометеорологической службе Беларуси и России в целях осуществления скоординированной научно-технической политики в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды и повышения эффективности использования информации о сложившихся и ожидаемых погодно-климатических условиях, об опасных и стихийных явлениях, а также данных о состоянии и загрязнении природной среды в интересах Республики Беларусь, Российской Федерации и Союзного государства в целом.

Комитет в пределах своей компетенции и в рамках задач Союзного государства в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды обеспечивает организацию, координацию и осуществление совместных работ гидрометслужб Беларуси и России по:

* системам наблюдений, сбора гидрометеорологической информации и данных о загря знении природной среды, их анализа, обобщения и хранения, оценки и прогноза состояния атмосферы, поверхностных вод суши, сельскохозяйственных культур, околоземного космического пространства, трансграничного переноса загрязняющих веществ;
* предоставлению различным потребителям информации о возникновении опасных и стихийных гидрометеорологических явлений, об экстремальном загрязнении природной среды, в том числе в интересах аварийно-спасательных и восстановительных работ в районах стихийных бедствий, промышленных аварий и других чрезвычайных ситуаций, о метеорологических, агрометеорологических и гидрологических условиях и изменениях климата, о состоянии и загрязнении природной среды, о радиационной обстановке на поверхности Земли и в околоземном космическом пространстве;
* совершенствованию систем предупреждения органов государственного управления, населения, экономики и вооруженных сил об опасных и стихийных гидрометеорологических явлениях и экстремальных ситуациях, связанных с загрязнением природной среды;
* мониторингу загрязнения природной среды, в том числе радиационной обстановки на территории, подвергшейся загрязнению в результате Чернобыльской катастрофы;
* разработке методов и выпуску краткосрочных и долгосрочных прогнозов погоды, водности, урожая сельскохозяйственных культур, опасных гидрометеорологических явлений, глобальных и региональных изменений климата, радиационной обстановки на поверхности Земли и в околоземном космическом пространстве, загрязнения, включая радиоактивное, природной среды;
* формированию и развитию единой системы наблюдений, сбора, обработки, анализа, хранения и распространения гидрометеорологической информации и данных о загрязнении природной среды;
* научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам в области гидрометеорологии, загрязнения природной среды, гидрометеорологического приборостроения;
* проведению комплексных экспедиций и натурных экспериментов, направленных на разработку методов оценки и прогноза состояния природной среды;
* организационно-техническому и методическому руководству соответствующими учреждениями, организациями и предприятиями;
* разработке методов и технических средств получения, сбора, обработки и распространения гидрометеорологической информации, включая космическую, а также данных о загрязнении природной среды;
* контролю в пределах своих полномочий за соблюдением требований ко всем видам работ в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды, выполняемых учреждениями, организациями и предприятиями на территории Союзного государства, независимо от их организационно-правовых форм;
* изданию научно-технической литературы в области гидрометеорологии, оценки загрязнения природной среды и его последствиях;
* системам регулярного доведения через средства массовой информации до населения данных о фактических и ожидаемых погодно-климатических условиях, опасных и стихийных явлениях гидрометеорологического характера;
* мерам, связанным с подготовкой, переподготовкой и повышением квалификации кадров по направлениям своей деятельности;
* участию соответствующих органов Республики Беларусь и Российской Федерации в работах по уменьшению негативного влияния хозяйственной деятельности на климат и предотвращению отрицательных последствий изменения климата для экономики и природной среды, а также в координации их деятельности по выполнению Рамочной Конвенции ООН об изменениях климата и ее протоколов;
* обмену гидрометеорологической информацией и данными о загрязнении природной среды, включая обмен указанной информацией с иностранными государствами и международными организациями;
* ведению межгосударственного фонда данных по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды;
* изданию единых наставлений, руководств, технических регламентов, методических указаний, научно-технических и технологических рекомендаций по проведению гидрометеорологических наблюдений и работ, мониторингу загрязнения природной среды, порядку представления результатов наблюдений;
* выработке согласованных механизмов проведения скоординированной политики выделения инвестиций для приобретения приборов и оборудования, обеспечивающих технологическое единство функционирования Комитета в качестве единой гидрометеорологической службы Союзного государства;
* участию во Всемирной метеорологической организации системы ООН и в других международных организациях, конвенциях, программах и проектах, касающихся гидрометеорологии, мониторинга загрязнения природной среды. При этом уполномоченные органы государственного управления Республики Беларусь и Российской Федерации в области гидрометеорологии сохраняют самостоятельность при обеспечении членства Республики Беларусь и Российской Федерации во Всемирной метеорологической организации, Межгосударственном Совете по гидрометеорологии Содружества Независимых Государств и других международных организациях, конвенциях, программах и проектах, касающихся гидрометеорологии, смежных с ней областей и мониторинга загрязнения природной среды.

Целенаправленная реализация основных положений, целей и задач Комитета позволила достичь значительных результатов в плане интеграции деятельности гидрометслужб Беларуси и России при сохранении их самостоятельности и обеспечении единства методологии по всем основным направлениям работ. Как показал накопленный опыт, найдена оптимальная организационная структура для единой службы: общий Комитет Союзного государства, руководство деятельностью которого осуществляет совместная коллегия. Председатель Коллегии является Руководителем Комитета. Решения коллегии принимаются на основе единогласия и обязательны для выполнения обеими службами. Такая форма объединения позволяет наиболее полно учитывать интересы каждой стороны, находить взаимоприемлемые решения, наилучшим образом использовать потенциал служб в общих интересах.

Первые инструментальные наблюдения на территории Беларуси относятся к началу первой половины XIX столетия. В Могилеве такие наблюдения были организованы  с 1808 г., в Витебске с 1810 г., в Бресте с  1834 г., в Бобруйске с 1836 г., в  Свислочи  с 1836 г., в  Гродно с 1837 г., в Горках c 1841 г и  в Минске с 1846 г. Наблюдения в этих пунктах не были постоянными, они прерывались, потом возобновлялись. В 1849 году  восемь метеорологических станций, открытых в указанных пунктах, вошли в опорную сеть Главной физической обсерватории (ГФО) г. Санкт-Петербурга. После организации обсерватории метеорологическая сеть стала развиваться более активно, и к концу 1890 года на территории Беларуси насчитывалось уже около 40 пунктов, где велись метеонаблюдения.

Самый продолжительный ряд наблюдений имеется в Горках. С 1841 г. по 1854 г. наблюдения проводились при Горе-Горецком земледельческом институте. Возобновлены наблюдения в 1861 г. и продолжались до июня  1941 г. В июле 1944 г. станция была восстановлена.

Первые гидрологические исследования рек Беларуси начались в начале ХYШ столетия, когда начали осваиваться водные пути и строиться судоходные каналы. В этих целях была обследована р. Западная Двина, а позднее  р. Днепр. Более планомерные исследования рек Беларуси начали проводиться с учреждением Главного Управления водных коммуникаций России. Наблюдения над вскрытием и замерзанием рек впервые были организованы в Беларуси в начале XIX века (1808 г.) Первые стационарные гидрологические посты были открыты на крупных реках Беларуси для целей судоходства в 1876 году. Изучением рек Белорусского Полесья длительное время (1873-1898 гг.) занималась «Западная экспедиция по осушению болот» под руководством И.И. Жилинского. К началу первой мировой войны гидрологическая сеть Беларуси состояла из 63 водомерных постов и, в основном, принадлежала двум ведомствам: Министерству путей сообщения (МПС) и Министерству земледелия. Материалы гидрологических наблюдений в дореволюционный период, хотя и не всегда были достаточно качественные, все же обрабатывались и публиковались.

Первым официальным изданием, где были опубликованы наблюдения гидрологических постов Беларуси, является «Сведения о состояниях уровня воды на реках и озерах Европейской России по наблюдениям на 80 водомерных постах»  (1881 г.). В последующем, начиная с 1881 по 1910 год, МПС публиковало материалы наблюдений на гидрологической сети по десятилетиям в выпусках «Сведения об уровне воды на внутренних водных путях России.

К 1914 году метеорологическая сеть состояла из 27 станций, 65 дождемерных и 63 водомерных постов, принадлежащих различным губернским ведомствам.  Материалы метеонаблюдений, начиная с 1850 года прошлого столетия, публиковались в «Своде наблюдений ГФО», а с 1865 по 1910 годы регулярно помещались в «Летописях ГФО». К 1917 году действовало 110 подразделений гидрологических сетей за счет возрастания требований в них различных отраслей хозяйства и, в первую очередь, развертывания работ по мелиорации земель.

После Октябрьской революции и гражданской войны эта небольшая сеть пришла в упадок. В 1919 году в Беларуси работало всего 7 станций, около 20 дождемерных и 24 гидрологических постов.

Основополагающими документом, определяющим становление и развитие гидрометеослужбы в Беларуси в советский период, явился  декрет «Об организации метеорологической службы в РСФСР», подписанный В.И. Лениным 21 июня 1921 года. Этим декретом предусматривалось объединение метеорологического дела в стране и организация обслуживания необходимыми данными заинтересованных ведомств. Руководство всей метеосетью возлагалось на Главную физическую обсерваторию, а на местах — на вновь создаваемые метеобюро. Гидрологическая сеть западных областей Беларуси, до воссоединения их в БССР, находилась в ведении Гидрологической службы Польши, а затем Гидрографического Института.

Во исполнение декрета, в целях повышения эффективности использования метеорологических данных в практике народного хозяйства и улучшения руководства метеосетью республики, 1 июля 1924 года в Беларуси было создано  метеобюро при Наркоземе. Заведующим метеобюро был назначен профессор, метеоролог, геофизик Мышкин Николай Павлович.  1 июля можно считать датой образования Гидрометеорологической службы Беларуси.

Создание Белорусского метеобюро призвано было устранить трудности и обеспечить развитие единой метеослужбы, аналогичной службе РСФСР. Большую помощь в становления и развитии службы Беларуси оказали Центральный Комитет КПБ и Правительство республики. Уже в начале своей деятельности метеобюро приступило к обработке наблюдений метеосети и подготовки их к опубликованию в «Летописях ГФО», издание которых было возобновлено в 1925 году. С апреля 1925 года метеобюро стало выпускать ежемесячный бюллетень погоды. С 1926 года были начаты агрометеорологические наблюдения и стали проводиться работы научно-исследовательского характера по изучению градобития.

С 1926 года в Минске проводятся шаропилотные наблюдения, и к 1929 году на территории Белоруссии существовала широкая сеть шаропилотных наблюдений. В эти же годы было начато производство температурного зондирования атмосферы с помощью шаров-зондов и коробчатого змея, а за несколько лет до Великой Отечественной войны, приступили к самолетному зондированию атмосферы на самолете ПО-2. Все эти наблюдения ограничивались весьма незначительными высотами 2-3 км, лишь отдельные достигали 5-6 км.

Грандиозные задачи индустриализации страны и коллективизации сельского хозяйства, вставшие перед страной в годы первой пятилетки, требовали комплексного изучения гидрометеорологических ресурсов и ставили задачи коренного улучшения этого изучения. Постановление ЦИК и СНК СССР от 7 августа 1929 года за № 468 «Об объединении гидрологической и метеорологической службы и создании Единой Службы в стране с руководящим органом — Гидрометкомитетом СССР», было весьма своевременным. В соответствии с этим постановлением Совет Народных Комиссаров Белорусской ССР создает в республике Гидрометеорологический комитет. В этом же году Постановлением СНК БССР в Минске создается Геофизическая обсерватория. В октябре 1930 г. образована Минская гидрометеорологическая обсерватория, в основном как научно-исследовательское подразделение. За годы работы функции обсерватории значительно расширились, она стала центральным научно-методическим подразделением Белорусского республиканского управления по гидрометеорологии. 23 марта 1933 г. СНК БССР создает Главное управление гидрометеослужбы БССР. Было построено здание Минской геофизической обсерватории, которая начала функционировать с 1 января 1936 года.

В 1937 году руководство гидрометеорологической службой Беларуси было поручено Смоленскому управлению гидрометеослужбы. В 1939г было создано управление гидрометеорологической службы БССР. К середине 1941 года в БССР действовала большая государственная гидрометеорологическая сеть с хорошим, по тем временам, техническим оснащением. К этому времени на территории БССР насчитывалось 464 пункта, являющихся составной частью гидрометеослужбы СССР. Из них: метеостанций II и III разряда 139, гидрологических станций и постов 325. Белорусские гидрометеорологии проводили широкий круг исследований по климату, сельскохозяйственной метеорологии, актинометрии.

В годы Великой Отечественной войны гидрометеослужба Белоруссии понесла тяжелые потери. Было потеряно около 300 человек квалифицированных работников; свыше 85% станций и 90% постов оказались разрушенными; ценное оборудование и технический архив в своем большинстве погибли, или были вывезены в Германию.

Наблюдательная сеть после войны была не только восстановлена, но и реорганизована в соответствии с научными принципами рационального размещения. В то время она состояла из трех обсерваторий, 34 метеорологических станций, 6 специализированных (болотной, озерной, лесной и трех агрометеорологических), 7 гидрологических, 16 авиаметеорологических станций, 191 гидрометеорологического поста и около 700 ведомственных агрометеорологических постов колхозов и совхозов. Восстановление разрушенной сети — открытие станций и постов осуществлялось специальными восстановительными партиями сразу же по мере освобождения территории Беларуси, что обеспечивало оперативное обслуживание Советской Армии. К началу 1945 года на территории Беларуси уже действовало 46 станций и 185 постов, работали органы службы прогнозов, Белорусская геофизическая обсерватория и органы управления. Наблюдательная сеть была не только восстановлена, но и реорганизована в соответствии  с научными принципами рационального размещения.

С развитием познаний в области физики, метеорологии и гидрологии и других смежных наук появилась возможность усовершенствовать конструкции установок и оборудования, необходимых для производства наблюдений за главнейшими гидрометеорологическими элементами и  явлениями.

Период 60-х годов прошлого века характеризуется внедрением инструментальных наблюдений за видимостью (М-53, М-71, М-37, РДВ-1), параметрами ветра, регистрацией нижней границы облаков. Начата автоматизация процесса производства, сбора, обработки и распространения  гидрометеорологической информации на территории Республики Беларусь.

Гидрометеорологическая служба Республики Беларусь во времена СССР была своего рода испытательным полигоном в освоении новых технических средств – метеорологических приборов и оборудования (в т.ч. автоматических метеорологических станций).

Первыми автоматическими метеорологическими станциями были автоматические гидрометеорологические станции М-106 с комплектом датчиков. С марта 1971 по декабрь 1973 года 25 метеорологических станций были переведены на режим работы в объеме автоматических станций, т.е. велись только инструментальные  наблюдения за температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением, характеристиками ветра, температурой почвы по глубинам, солнечным сиянием, количеством осадков, дальностью видимости, высотой нижней границы облаков. На ряде станций был проведен эксперимент по работе без ночных дежурств наблюдателя. Запись визуальных наблюдений за атмосферными явлениями, формами и количеством облачности в этот период отсутствует. В 1976 году на всей сети метеостанций была произведена замена станций М-106 на более совершенные М-106М, которые  использовались в работе до конца 80-х годов. К работе центрального устройства автоматических станций претензий было мало, датчики же были далеки от совершенства. Совершенно непригодными к использованию оказались датчики солнечного сияния, жидких осадков.

Параллельно этим автоматическим станциям на АМСГ (Гродно, Могилев, Мозырь) устанавливались комплексные радиотехнические аэродромные метеорологические станции (КРАМС) для получения оперативной  и штормовой информации. Серийно эта станция выпускалась с 1989 г. С конца 80–х годов прошлого века на ряде станций наблюдательной сети устанавливались станции АГМС–НО.  
Комплексная автоматизация коснулась не только метеорологии и приземных наблюдений. В этот период прошли испытания автоматические гидрологические посты, внедрена машинная обработка агрометеорологической информации с машинным получением таблиц ТСХ-1, создана система автоматизированной обработки аэрологической информации, проводились испытания аппаратуры для автоматической обработки данных МРЛ, внедрен комплекс автоматической обработки актинометрических наблюдений.

Основными целями деятельности  гидрометслужбы являются: организация получения первичных гидрометеорологических данных на государственной сети гидрометеорологических наблюдений; осуществление сбора, обработки, анализа, хранения и предоставления гидрометеорологической информации с сети гидрометеорологических наблюдений; составление прогнозов (синоптических, гидрологических, агрометеорологических), проведение анализа региональных изменений климата; обеспечение в установленном порядке государственных органов, юридических лиц и граждан гидрометеорологической информацией; проведение исследований полярных районов Земли.

В современных условиях нет отрасли экономики, которая прямо или косвенно не испытывала бы потребности в гидрометеорологической информации. Для успешного продвижения фактической и прогностической продукции на рынке гидрометеорологических услуг необходимо знать специфику производственной деятельности отраслей экономики, влияние на нее различных метеорологических параметров. Это позволяет проводить грамотные консультации потребителей по подбору информации, определению ее объема, параметров, частоты передачи и формы предоставления. Задача гидрометеорологической сети — помочь потребителю сориентироваться в огромном количестве гидрометеорологических параметров с целью наиболее эффективного использования их в производственной деятельности.

В последние годы отмечается увеличение количества интенсивности неблагоприятных и опасных погодных явлений, которые приносят значительный ущерб народному хозяйству страны, предоставляют угрозу безопасности населения и окружающей среде. Ежегодно в стране регистрируется от 10 до 25 опасных гидрометеорологических явлений, суммарный ущерб от которых достигает нескольких десятков, иногда и сотен миллиардов белорусских рублей. Большинство отмечающихся опасных явлений носит локальный характер, однако такие явления, как заморозки, сильный ветер (в том числе и шквалы), сильные дожди, чрезвычайная пожарная опасность, зачастую охватывают значительную часть территории Беларуси. Поэтому наблюдения за погодой и своевременное прогнозирование опасных явлений погоды с целью снижения угрозы жизни людей и минимизации ущерба экономики — одна из важнейших задач национальной гидрометеорологической службы Беларуси.

Ежедневно в Республиканском гидрометеоцентре разрабатывается около 60 специализированных прогнозов погоды разной заблаговременности. В течение года для сельского хозяйства составляется 17 видов агрометеорологических прогнозов, из них 8 видов прогнозов средней областной урожайности,  7 видов фенологических. Кроме того, для различных организаций составляются и доводятся  7 видов гидрологических прогнозов — это  сроки вскрытия рек и максимальных уровней весеннего половодья, прогноз минимальных уровней воды,  прогноз появления плавучего льда на реках Беларуси и др. Регулярно составляются гидрометеорологические бюллетени, доклады, справки, консультации о сложившихся и ожидаемых гидрометеорологических условиях.

Гидрометеорологическое обеспечение дает социальные результаты, которые заключаются в удовлетворении потребности конкретного человека в информации о погоде «на сегодня и на завтра». Обеспечение населения информацией о погоде и климате происходит в основном через средства массовой информации.

Прогнозирование и своевременное предупреждение о возможном стихийном или опасном гидрометеорологическом явлении позволяет уменьшить потери от него. Анализ соответствующих данных на международном уровне показывает, что своевременное предупреждение о неблагоприятных и опасных явлениях погоды, позволяющее принять необходимые меры защиты, дает возможность уменьшить потери от них до 40 процентов. В последние годы активно внедряются новые технологии гидрометеорологических наблюдений, идет техническое переоснащение государственной сети гидрометеорологических наблюдений с установлением автоматических датчиков и автоматизированных метеорологических систем фирмы «Вайсала» и «Пеленг», модернизация сети метеорологических радиолокационных наблюдений, внедрение новых и совершенствование существующих методов прогнозов погоды. Все  это позволяет смотреть в будущее развитие гидрометеорологической службы с оптимизмом.

**Часть 3**

К основным метеорологическим элементам относятся:

1) измеренные метеорологические данные – первичная информация о состоянии атмосферы: атмосферное давление, температура (срочная, минимальная, максимальная) и влажность воздуха (относительная, упругость водяного пара), ветер (направление и скорость), облачность (количество и формы облаков), количество и вид выпадающих осадков, дальность видимости, туман, метели, грозы, продолжительность солнечного сияния, температура почвы, высота снежного покрова и пр.;

2) рассчитанные метеорологические данные: потенциальная, эквивалентная, псевдопотенциальная, виртуальная температура, коэффициент прозрачности атмосферы, радиационный и тепловой баланс и их составляющие, вертикальная составляющая скорости ветра (вертикальные движения), горизонтальный и вертикальный градиенты.

Количественное значение метеорологического элемента называется метеорологической величиной. Некоторые метеорологические элементы не имеют численного эквивалента и характеризуются словесным описанием (например, облачность – формами; туман, метель, гроза – интенсивностью явления и т.д.).

Метеорологические элементы, как измеряемые и наблюдаемые, так и рассчитанные, изменяются во времени и пространстве. Распределение метеорологического элемента в пространстве называют полем этого элемента. Например, пространственное распределение атмосферного давления представляет собой поле атмосферного давления, или барическое поле; пространственное распределение температуры воздуха – поле температуры и т.д.

Количественной мерой изменения метеорологической величины в пространстве служит градиент этой величины. В синоптической практике используют горизонтальные и вертикальные градиенты давления и температуры воздуха. Горизонтальный градиент всегда положителен.   
Вертикальный градиент может быть как положительным, так и отрицательным. Справедливо следующее общее правило: если метеорологическая величина с высотой убывает, то вертикальный градиент положителен, если величина с высотой растет, то вертикальный градиент этой величины отрицателен. Горизонтальный градиент давления рассчитывают чаще всего на 100 км (гПа на 100 км). Значение горизонтального градиента давления в условиях атмосферы обычно колеблется от 1 до 5 гПа на 100 км. В разных точках барического поля направление и величина барического градиента будут, конечно, разными. Там, где изобары сгущены, изменение давления на единицу расстояния по нормали к изобаре больше; там, где изобары раздвинуты, оно меньше. Иначе говоря, величина горизонтального барического градиента обратно пропорциональна расстоянию между изобарами.

Так как атмосферное давление всегда падает с высотой, вертикальный градиент всегда положителен. При этом, поскольку в атмосфере давление с высотой изменяется интенсивней, чем в горизонтальной проекции, вертикальный барический градиент численно будет всегда больше горизонтального.

Большинство метеорологических элементов (атмосферное давление, температура и влажность воздуха и др.) – величины скалярные. Поэтому их пространственное распределение можно наглядно представить двояко: 1) конкретными значениями элемента на данной фиксированной высоте в атмосфере; 2) поверхностями равных значений данного элемента: для давления воздуха такой поверхностью является поверхность изобарическая, для температуры воздуха – изотермическая, и т.д.

Основным материалом для анализа синоптических процессов и краткосрочного прогноза погоды являются синоптические карты. Наиболее информативными, с точки зрения обширности сведений о погоде, являются приземные синоптические карты. Приземные карты погоды составляются путем нанесения метеорологических данных, содержащихся в метеорологических телеграммах. На них условными символами и цифрами возле знака станции наносится первичная и вторичная метеорологическая информация (давление, приведенное к уровню моря; наблюденная температура воздуха; точка росы; скорость и направление ветра на высоте флюгера; метеорологическая дальность видимости; общее количество облаков; количество облаков нижнего яруса и высота их нижней границы; формы облаков нижнего, среднего и верхнего ярусов; количество и вид осадков; явления погоды в срок наблюдений и между сроками наблюдений; величина и знак барической тенденции).

Наблюдения на наземных станциях проводятся через 3 часа. Основными синоптическими сроками считаются 00, 06, 12, 18 ч среднего гринвичского времени. Для них составляются основные синоптические карты масштаба 1:1,5·107, т.е. 1 см на карте соответствует 150 км на местности. Для более детального анализа развития синоптических процессов и оценки погодных условий в районе, прилегающем к метеостанции, в качестве географической основы используются карты с масштабами 1:5:106 и 1:2,5:106. На таких картах 1 см соответствует 50 и 25 км на местности. В этих случаях можно использовать более густую сеть пунктов наблюдения за погодой, и, следовательно, более детально изучить развитие синоптических процессов, определяющих погоду на станции в будущем, т.е. дать более точный краткосрочный прогноз погоды.

В синоптической практике широко используется понятие изолиний – линий равных значений величин [*изос* – «равный» др. греч. Применяются следующие определения:

изобары – линии равных значений атмосферного давления,

изогипсы – линии равных значений геопотенциала, или равных высот изобарической поверхности,

изотермы – линии равных значений температуры,

изогеотермы – линии равных значений температуры почвы,

изобронты – линии равных значений годового числа гроз,

изогоны – линии равных значений направления ветра,

изовелы, или изотахи – линии равных значений скорости ветра,

изограммы – линии равных значений удельной влажности,

изовапоры – линии равных значений упругости водяного пара,

изогиеты – линии равных значений суточных сумм осадков,

изонефы – линии равных значений количества облаков,

изогелии – линии равных значений продолжительности солнечного сияния,

изаллобары, или изотенденции – линии равных значений барической тенденции,

изохроны – линии, соединяющие на карте точки с одновременным наступлением определённого явления (например, прохождения атмосферного фронта) или определённого значения какого-либо элемента.

Основными системами изолиний на приземной синоптической карте являются изобары – линии равных значений давления и изаллобары – линии равных барических тенденций. Барическая тенденция – это изменение атмосферного давления во времени, обычно за последние 3 часа [гПа/3 ч].

**Изотермы –** линии равной температуры воздуха, наглядно показывающие распределение температуры. Проводятся на дополнительных и специализированных картах – средних или максимальных температур воздуха, прогностических картах и картах абсолютной и относительной топографии). Особое внимание уделяется изотерме 0°C. В переходный сезон года высота нулевой изотермы служит для прогноза фазового состояния осадков. Если высота изотермы 0°C больше 500 м над уровнем моря, то, как правило, осадки выпадают в виде дождя. Если её высота меньше 500 м, то осадки будут выпадать в смешанной фазе, т.е. в виде мокрого снега.

В качестве синоптических карт, или карт погоды, для свободной атмосферы используются карты высот некоторых фиксированных (главных) изобарических поверхностей, на которые, кроме высот этих поверхностей, наносятся данные о температуре воздуха, точке росы, направлении и скорости ветра, полученные при температурно-ветровом радиозондировании. Изобарическая поверхность показывает высоту в атмосфере от поверхности Земли, где давление принимает одно и то же значение. Например, карта изобарической поверхности 700 гПа (АТ700) будет показывать высоту, где давление воздуха достигает данного значения, т.е. 700 гПа. Эта высота может варьироваться в среднем от 2,5 км до 3,2 км. Главными принято считать изобарические поверхности 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 100, 50, 30, 20 и 10 гПа. В прогностической практике, в основном при составлении авиапрогнозов, может использоваться изобарическая поверхность 925 гПа.

Карта абсолютной топографии АТp представляет собой карту высот данной изобарической поверхности *p = const* над уровнем моря. Областям с наиболее высоким положением изобарических поверхностей соответствует более высокое давление, а с наиболее низким — более низкое давление. Тем самым карта абсолютной топографии характеризует состояние барического поля в свободной атмосфере, по аналогии с тем, как приземная синоптическая карта описывает структуру поля давления на уровне моря. Кроме геопотенциальных высот, на карту АТp наносят температуру, дефицит точки росы, скорость и направление ветра на данной изобарической поверхности. Приближенные высоты основных изобарических поверхностей:

Кроме того, по данным, полученным при температурно-ветровом зондировании атмосферы, строят карты толщин слоев между некоторыми главными изобарическими поверхностями – карты относительной топографии (ОТ). На этих картах проводят линии равных значений толщин слоев, которые также называют изогипсами. При анализе текущих синоптических процессов и краткосрочном прогнозе погоды в настоящее время используется карта превышения изобарической поверхности 500 гПа над изобарической поверхностью 1000 гПа – карта ОТ500/1000. Толщина слоя нижней половины тропосферы, заключенной между изобарическими поверхностями 500 гПа и 1000 гПа, зависит только от средней температуры этого слоя. Таким образом, если карты АТ дают представление о полях давления в свободной атмосфере, то карты ОТ – о полях температуры в различных её слоях.

Говоря о высотах изобарических поверхностей, следует иметь ввиду, что на картах их высоты нанесены в особых условных энергетических единицах – геопотенциальных метрах, точнее, геопотенциальных декаметрах. **Геопотенциалом** называется работа, которая затрачивается на преодоление силы тяжести *F = mg* при перемещении частицы с массой m=1 от центра Земли до заданного уровня. Условно геопотенциал F равен нулю на уровне моря и все расчеты абсолютных значений F производятся относительно этого уровня. Практической единицей геопотенциала является геопотенциальный метр (гп. м). По своей сути геопотенциальный метр – это величина потенциальной энергии воздушной частицы единичной массы, поднявшейся на высоту 1 м в поле земного тяготения с ускорением свободного падения g, деленная на безразмерную величину 9,8. Таким образом, геопотенциальная высота Н равна: *Н = gz/9,8* (гп.м). Численное значение 9,8 весьма близко к 9,8 м2/с и максимально отличается от него на полюсе и на экваторе всего на 0,5%. Поэтому значения геопотенциальных высот в гп.м практически равны линейным высотам в метрах. Размерность гп.м – м2/с2.

Высоты относительных изобарических поверхностей:

1000 гПа – 0 км; 925 – 0,75; 850 – 1,5; 700 – 3; 500 – 5 (5,5); 300 – 9;

200 – 12; 100 – 16; 50 – 20; 30 – 24; 20 – 27; 10 – 29-30 км.

[Градиент (лат. *gradientis* – шагающий, растущий) – вектор, своим направлением указывающий направление наискорейшего возрастания некоторой величины, значение которой меняется от одной точки пространства к другой (скалярного поля), а по величине (модулю) равный быстроте роста этой величины в этом направлении]

Как показывает синоптическая практика, вертикальный барический градиент направлен вертикально вверх только в центрах барических образований, где изобарическая поверхность параллельна земной поверхности. В остальных случаях изобарические поверхности располагаются под углом к горизонту. Следовательно, обе составляющие барического градиента, и горизонтальная, и вертикальная, направлены в сторону понижения давления. Поскольку вертикальная составляющая силы барического градиента практически уравновешивается силой тяжести g, то обычно рассматривается лишь горизонтальная составляющая силы барического градиента, каковая и является непосредственной причиной возникновения атмосферных движений крупного (синоптического) масштаба.

Соединив значения равных высот изобарической поверхности, получим изолинии – изогипсы, это основные изолинии на картах барической топографии. Изогипсы на картах АТ850, АТ700, АТ500 проводятся через 4 геопотенциальных декаметра (гп. дам) кратно 4, например, на карте АТ850 – 120, 124, 128 гп. дам и т.д., на карте АТ700 – 268, 272, 276 и т.д., на карте АТ500 – 532, 536, 540 и т.д. Интервал динамической высоты 4 гп. дам выбран потому, что он приблизительно соответствует интервалу давления в 5 гПа, принятому при проведении изобар на приземной карте погоды. На картах АТ300 и на вышележащих поверхностях изогипсы проводят через 8 гп. дам (кратные 8, например, на АТ300 – 920, 928 и т.д.).

Линии, соединяющия на карте места с одинаковым изменением абсолютного или относительного геопотенциала изобарической поверхности за некоторый промежуток времени (12, 24 ч), называются изаллогипсами. Области отрицательных абсолютных изаллогипс., т. е. области, где изобарическая поверхность понижается, — это области падения давления. Области отрицательных относительных изаллогипс, т. е. области, где толщина слоя между двумя изобарическими поверхностями уменьшается, — это области падения средней температуры слоя. Обратные утверждения относятся к областям положительных изаллогипс: в областях положительных абсолютных изаллогипс – области повышения давления, а области положительных относительных изогипс – области роста средней температуры слоя.

Карта ОТ500/1000 — это, по сути, поле температур нижней половины тропосферы. При фиксированной разности давлений на границах слоя толщина этого слоя обратно пропорциональна плотности воздуха, а та, в свою очередь (при фиксированном давлении), обратно пропорциональна температуре. Таким образом, толщина слоя (относительный геопотенциал) прямо пропорциональна средней температуре слоя. ОТ500/1000 удобен ещё и тем, что при таком соотношении давления на границах, средняя температура слоя (в градусах Кельвина) равна относительному геопотенциалу в гп.дам (десятках метров), поделённому на 2. Таким образом, изогипсы ОТ500/1000, проведённые через 4 гп.дам, эквивалентны изотермам средней температуры слоя, проведённым через 2К. Таким образом, карта ОТ500/1000 дает возможность анализировать температурное поле указанного слоя (1000-500 гПа, приблизительно от земной поверхности до высоты 5-5,5 км).

Учитывая меньшую, по сравнению с приземным слоем, временнýю изменчивость метеорологических величин в свободной атмосфере, температурно-ветровое зондирование проводится реже, чем наблюдения на наземных метеостанциях, а именно в 00, 06, 12 и 18 часов среднего гринвичского времени. При этом основными сроками являются 00 и 12 часов. По результатам этих измерений и строятся карты АТ и ОТ. Кроме того, эти материалы необходимы для оценки вертикальной термической устойчивости атмосферы, что является основой для прогноза таких конвективных явлений, как грозы, град, ливневые осадки.

Как известно, атмосферный воздух незначительно нагревается непосредственно солнечными лучами. Атмосфера нагревается от подстилающей поверхности. Теплота в атмосферу передается конвекцией, адвекцией и конденсацией водяного пара. Слои воздуха, нагреваясь от почвы, становятся более легкими и поднимаются вверх, а более холодный, следовательно, более тяжелый воздух опускается вниз. В результате тепловой конвекции идет прогревание высоких слоев воздуха. Второй процесс передачи теплоты – адвекция, т.е. горизонтальный перенос воздуха. Роль адвекции заключается в передаче теплоты из низких широт в высокие широты, в зимний сезон тепло передается от океанов к материкам. Конденсация водяного пара – важный процесс, осуществляющий передачу теплоты высоким слоям атмосферы – при испарении теплота забирается от испаряющей поверхности, при конденсации в атмосфере эта теплота выделяется. С высотой температура убывает.

Изменение температуры воздуха на единицу высоты называется вертикальным температурным градиентом, в среднем он равен 0,6° на 100 м. Вместе с тем, ход этого убывания в разных слоях тропосферы разный: 0,3-0,4° до высоты 1,5 км; 0,5-0,6° – между высотами 1,5-6 км; 0,65-0,75° – от 6 до 9 км и 0,5-0,2° – от 9 до 12 км. В приземном слое (толщиной 2 м) градиенты, при пересчете на 100 м, исчисляются сотнями градусов. В поднимающемся воздухе температура изменяется адиабатически. Адиабатический процесс – процесс изменения температуры воздуха при его вертикальном движении без теплообмена с окружающей средой (в одной массе, без обмена теплом с другими средами). В сухом воздухе градиент температуры составляет около 1°, в насыщенном водяным паром — около 0,5°.

Неизменность температуры воздуха с высотой в некотором слое атмосферы называется изотермией. Изотермия приближенно осуществляется в нижней стратосфере. Иногда уточняют: вертикальная изотермия. Если в слое воздуха температура с высотой не падает, а растет, то говорят, что наблюдается инверсия температуры. С инверсиями температуры связаны определенные особенности развития атмосферных процессов. В частности, слои инверсии имеют наиболее устойчивую стратификацию и препятствуют развитию восходящих движений воздуха. Инверсия характеризуется высотой нижней границы инверсионного слоя, вертикальной его мощностью и так называемой глубиной, т.е. разностью температур на верхней и нижней границах слоя.   
Инверсии подразделяются на приземные и инверсии свободной атмосферы. Мощность инверсионных слоев изменяется от нескольких метров до 2-3 км, а глубина инверсий колеблется от 2 до 10°C.

Чаще всего инверсия является следствием сильного охлаждения приземного слоя воздуха, вызванного сильным охлаждением земной поверхности в ясные тихие ночи, преимущественно зимой. При пересеченном рельефе холодные массы воздуха медленно стекают вдоль склонов и застаиваются в котловинах, впадинах и т.п. Инверсии могут образовываться и при движении воздушных масс из теплых областей в холодные, так как при натекании подогретого воздуха на холодную подстилающую поверхность его нижние слои заметно охлаждаются (инверсия сжатия).

Само по себе картирование термического поля для целей прогноза погоды мало что даёт, но при рассмотрении термобарической карты (поле ОТ500/1000, совмещённое с полем АТ700) получается нагляднейшая картина адвекции (изменения температуры в горизонтальной плоскости), что позволяет выделять фронтальные зоны и границы между различными воздушными массами.

Барическое поле, как следует из его природы, непрерывно. Элементами его структуры являются области с замкнутыми изобарами и области разомкнутых изобар. К замкнутым барическим системам относятся барические максимумы (система замкнутых изобар с повышенным давлением в центре) и минимумы (система замкнутых изобар с пониженным давлением в центре), к незамкнутым – барические гребень (полоса повышенного давления от барического максимума внутри поля пониженного давления), ложбина (полоса пониженного давления от барического минимума внутри поля повышенного давления) и седловина (незамкнутая система изобар между двумя барическими максимумами и двумя минимумами). В литературе встречается понятие барическая депрессия – пояс пониженного давления, внутри которого могут быть замкнутые барические минимумы.

Тесная связь поля давления с полем ветра приводит к тому, что барические системы являются одновременно системами ветров. В свободной атмосфере, где трение можно считать несущественным, ветер направлен вдоль изобар (изогипс) так, что низкое давление остается слева (в северном полушарии). У поверхности земли работает т.н. б**арический закон** ветра (закон Бейс-Балло): если стать спиной к ветру, то область низкого давления будет расположена слева и несколько впереди наблюдателя, а область высокого давления справа и несколько позади наблюдателя.

Скорость ветра определяется горизонтальным барическим градиентом – изменением давления (падение давления на 1 гПа) на единицу расстояния (100 км) в сторону уменьшения давления и перпендикулярно изобарам. Кроме барометрического градиента, на ветер действуют вращение Земли (сила Кориолиса), центробежная сила и трение. В пограничном слое по мере приближения к земной поверхности возрастает влияние силы ветра, и скорость ветра становится меньше скорости геострофического ветра, а по направлению он отклоняется от изобар в сторону низкого давления. В среднем над сушей на уровне флюгера скорость фактического (измеренного) ветра составляет 0,55 от скорости геострофического ветра, а по направлению он отклоняется от изобар в сторону низкого давления на 35-45°. Над морем, в среднем, коэффициент перехода от геострофического ветра к фактическому равен 0,7, а отклонение от изобары в сторону низкого давления равно 15°.

Отклонение направления ветра от изобар в слое трения в сторону низкого давления имеет очень большое значение, как фактор, определяющий различие в погодных условиях в пределах областей повышенного и пониженного давления. В пределах депрессии сходимость ветров (линий тока) приводит к накоплению массы воздуха в пограничном слое и к его вынужденному подъему вверх в виде так называемых упорядоченных вертикальных движений со скоростями порядка см/c. Такой подъем воздуха вверх в устойчиво термически стратифицированной тропосфере вызывает его охлаждение, повышение относительной влажности и, затем, конденсацию водяного пара, образование облачности и выпадение осадков. Аналогичный процесс происходит и в ложбинах, где сходимость ветров происходит на их осях – линиях, соединяющих точки с наибольшей кривизной изобар. Здесь также наблюдаются упорядоченные восходящие движения. Более того, здесь создаются благоприятные условия для возникновения и поддержания длительного существования переходных зон между воздушными массами с различными погодными условиями – фронтальных разделов.

В областях повышенного давления, наоборот, расходимость ветров (линий тока) приводит к появлению упорядоченных нисходящих движений, компенсирующих убыль массы в пограничном слое. Опускающийся воздух нагревается, начинается испарение облачных капель, облачность постепенно деградирует и исчезает, воздух удаляется от состояния насыщения водяным паром. Поэтому в областях повышенного давления обычно (но не всегда) формируется малооблачная погода с большим суточным ходом метеорологических величин.

Преобладание упорядоченных восходящих движений в областях пониженного давления приводит к постепенному падению температуры всего столба тропосферного воздуха над ними. Поэтому над циклонами и ложбинами формируются очаги холода. Наоборот, над областями повышенного давления за счет адиабатического нагревания опускающегося воздуха формируются очаги тепла.

Таким образом, прослеживается очевидная связь пространственной структуры поля давления и её изменений во времени со структурой и изменением в течение времени полей ветра, температуры, вертикальных движений, влажности и осадков и, следовательно, с комплексом локальных характеристик этих полей, т.е. погодой. Изменение структуры одного из полей вызывает изменение структуры остальных, а, следовательно, и погоды.

Сдвиг ветра — повышенный градиент скорости и (или) направления ветра в случаях, когда они значительно изменяются на относительно небольшом участке в атмосфере. Сдвиг ветра обычно раскладывают на горизонтальную и вертикальную компоненты, из которых горизонтальная, как правило, более значительная в районе атмосферных фронтов, а вертикальная — у поверхности Земли, хотя обе могут быть значительными и на больших высотах в районе высотных струйных течений и высотных фронтальных зон.

Сдвиг ветра является, как правило, микрометеорологическим, реже мезометеорологическим и в очень редких случаях синоптическим явлением. В частности, он часто связан с такими явлениями, как линия шквала, вызванные грозами микропорывы, движение атмосферных фронтов, низкоуровневые струйные течения, районы сильных местных ветров, прохождение ветров у гор, крупных строений. Сдвиг ветра существенно влияет на взлёт и посадку воздушных судов и, из-за возможной потери управляемости, является значительным фактором риска в авиации. Сдвиг ветра также влияет на движение звуковых волн, которые могут менять направление движения. Сильные сдвиги ветра угнетают формирование тропических циклонов, но участвуют в формировании циклонов внетропических и увеличивают продолжительность гроз. Одним из примеров сдвига ветра в свободной атмосфере является термический ветер, что объясняет возникновение высотных струйных течений.

Развитие атмосферных процессов, так же, как и изменение всех метеорологических элементов, происходит под влиянием адвективных и динамических факторов. Эти факторы всегда действуют одновременно и совместно, но с различной интенсивностью.

В общем случае при рассмотрении перемещения частицы воздуха в горизонтальном направлении говорят об адвекции. Перемещение частицы воздуха в вертикальном направлении – конвекция. Горизонтальный перенос какой-либо характеристики, например, изобары, – трансляция. Постепенное изменение свойств воздушной массы вследствие воздействия подстилающей поверхности и окружающих воздушных масс – трансформация. Вместо термина «трансформация» в отношении барических образований, изобар, атмосферного давления употребляется термин «эволюция».

При вычислении трансляционных (адвективных) изменений метеорологических величин предполагается, что та или иная характеристика в атмосфере переносится в неизменном виде. При вычислении трансформационных (эволюционных) изменений метеорологических величин предполагается её возможное изменение. Локальные изменения метеорологической величины во времени следует рассматривать, как сумму её трансляционных и эволюционных изменений.

Поскольку величина барической ступени зависит от температуры воздуха, то чем выше температура воздуха, тем больше барическая ступень, и, наоборот, в холодном воздухе барическая ступень меньше. Следовательно, давление в тёплом воздухе убывает медленнее, чем в холодном. Таким образом, с высотой осуществляется такая перестройка барического поля, при которой центры областей пониженного давления на высотах приближаются к центрам областей холода, а повышенного – к центрам областей тепла.

Барический градиент на верхнем уровне определяется двумя факторами: барическим градиентом на нижнем уровне и дополнительным термическим градиентом. Дополнительный термический градиент, в свою очередь, зависит (пропорционален) от толщины рассматриваемого слоя воздуха, т.е. от высоты, и величине горизонтального градиента температуры данного слоя, направленного параллельно барическому градиенту. В результате с возрастанием высоты барический градиент верхнего уровня стремится приблизиться по направлению к среднему термическому градиенту, а изобары – к средним изотермам. Следовательно, на высотах нескольких километров в атмосфере области высокого давления совпадают с очагами тепла, а области низкого давления – с очагами холода.

2

*m*

Общее правило таково: в нижней тропосфере знаки изменения давления и средней температуры слоя противоположны, в средней и верхней – совпадают. Адвекция тепла сопровождается падением давления воздуха в нижнем слое и его увеличением в верхнем, адвекция холода благоприятствует росту давления внизу и его уменьшению в верхних слоях атмосферы.

Неодинаковая зависимость между изменениями температуры и давления воздуха во всей толще тропосферы указывает на существование уровня, где происходит смена знака этой зависимости. Наблюдающаяся у поверхности Земли и в самом нижнем слое тропосферы обратная зависимость между изменениями температуры и давления с высотой уменьшается, пока не достигает нуля. Выше этого уровня в свободной атмосфере связь между изменениями температуры и давления прямая. Данный уровень носит название уровня компенсации. Средняя высота данного уровня – около 3-4 км. Высота уровня компенсации не остается постоянной, а меняется в зависимости от сезона, широты места, синоптической ситуации. Например, зимой она ниже и располагается примерно на высоте 3-4 км, что соответствует высоте АТ700, летом – выше – примерно на высоте АТ500. В южных широтах уровень компенсации в среднем выше, чем в северных, и над циклонами ниже, чем над антициклонами.

Динамические изменения атмосферного давления возникают при горизонтальном переносе воздуха вследствие нестационарности движений в атмосфере, т.е. при наличии отклонения ветра от геострофического. Это имеет место в зонах сходимости или расходимости течений, при циклонически или антициклонически изогнутых изобарах и изогипсах, в местах сгущения или, наоборот, разрежения изобар, где вследствие инерции скорости происходит накопление или растекание воздушных масс. Это обусловливает, соответственно, динамический рост давления в одном месте и динамическое падение давления в другом. С другой стороны, динамические изменения давления (накопление или разрежение масс воздуха) обусловливают развитие вертикальных движений. Кроме вертикальных движений вследствие нестационарности в свободной атмосфере, различают ещё вертикальные движения в приземном слое трения, обусловленные сходимостью и расходимостью воздушных течений у поверхности Земли, а также вертикальные движения, обусловленные динамической турбулентностью и термической конвекцией.

С этими вертикальными движениями связано адиабатическое (за счёт внутренней энергии) нагревание масс воздуха вследствие динамического сжатия при нисходящих движениях и адиабатическое охлаждение вследствие динамического расширения при восходящих движениях. Динамические изменения давления, вызывая сжатие или расширение объёма, обусловливают динамические изменения температуры воздуха. С динамическими изменениями атмосферного давления связаны возникновение и эволюция барических образований.

Динамическое изменение атмосферного давления зависит от квадрата горизонтального градиента температуры. Следовательно, интенсивность динамических изменений быстро возрастает с увеличением горизонтальных контрастов температуры. Кроме того, динамическое изменение давления зависит от величины изменения градиента вдоль потока, так и по нормали к нему. Изменение градиента давления по потоку определяется сходимостью или расходимостью абсолютных изогипс, а изменение градиента давления по нормали – сгущением или разрежением абсолютных изогипс в сторону низкого или высокого давления. Динамическое изменение давления зависит также и от кривизны изобар. Причём, динамический рост или падение давления характеризуются соответственно, положительными или отрицательными знаками каждого из них.

Таким образом, динамические изменения давления, кроме зависимости от квадрата горизонтального градиента температуры, определяются сходимостью или расходимостью изогипс, их сгущением или разрежением вдоль нормали, а также их кривизной. Если изотермы и изогипсы пересекаются под углом, равным 90° или близким к нему, а также, если они параллельны или пересекаются под очень малым углом, то величина динамического изменения давления в основном определяется только сходимостью или расходимостью изогипс, независимо от характера адвекции тепла или холода. Если же изотермы и изогипсы пересекаются под углом, равным 45° или близким к нему, то величина динамического изменения давления в основном зависит от сгущения или разрежения изогипс, от их кривизны и характера адвекции. При этом углы адвекции считаются положительными при отклонении изотерм влево от изогипс, что соответствует адвекции холода, и отрицательными, если изотермы отклоняются вправо от изогипс, что соответствует адвекции тепла.

Итак, динамические изменения давления определяются структурой термобарического поля тропосферы:

1) если структура термобарического поля тропосферы такова, что изогипсы пересекаются с изотермами под углами, меньшими 45°, то в области сходящихся изогипс всегда будет иметь место динамический рост давления, а в области расходящихся – динамическое падение давления;

2) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами, большими 45°, то, наоборот, в области сходящихся изогипс будет иметь место динамическое падение давления, а в области расходящихся изогипс – динамический рост давления;

3) если изогипсы и изотермы пересекаются под углами, равными 45°, то динамическое изменение давления равно нулю как в области сходящихся, так и расходящихся изогипс;

4) при параллельности изогипс и изотерм наибольший рост давления будет иметь место в области сходимости изогипс, наибольшее падение давления – в области расходимости изогипс;

5) при углах адвекции 90° наибольший рост давления происходит в области расходимости изогипс, наибольшее падение – в области сходимости изогипс.

6) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами, близкими к 45°, и имеет место адвекция холода, то при сгущении изогипс в сторону высоких значений происходит динамическое падение давления, а при их разрежении – динамический рост давления;

7) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами, близкими к 45°, и имеет место адвекция тепла, то при сгущении изогипс в сторону высоких значений происходит динамических рост давления, а при их разрежении – динамическое падение давления;

8) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами 90° или параллельны, то динамическое падение давления при сгущающихся и разрежающихся изогипсах в сторону высокого или низкого давления равно нулю;

9) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами, равными 45°, то динамическое изменение давления при адвекции холода и адвекции тепла как при сгущающихся, так и при разрежающихся изогипсах достигают, соответственно, максимальных значений;

10) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами, близкими к 45°, и имеет место адвекция холода, то при циклонической кривизне происходит динамический рост давления, при антициклонической кривизне и адвекции холода происходит динамическое падение давления;

11) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами, близкими к 45°, и имеет место адвекция тепла, то при циклонической кривизне происходит динамическое падение давления, при антициклонической кривизне и адвекции тепла происходит динамический рост давления;

12) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами 90° или совпадают по направлению, то динамическое изменение давления вследствие циклонической или антициклонической кривизны равно нулю;

13) если изогипсы пересекаются с изотермами под углами, равными 45°, то динамическое изменение давления вследствие циклонической или антициклонической кривизны как при адвекции тепла, так и при адвекции холода достигает максимальных значений.

Из всех факторов, наиболее существенными для динамического изменения давления являются сходимость и расходимость изогипс.

*Поле вертикальных движений атмосферы*

До сих пор, при изучении атмосферных движений, основное внимание уделялось рассмотрению горизонтального движения.

Хотя величина горизонтальной скорости в обычных условиях на порядок и более превышает величину вертикальной скорости, тем не менее, вертикальная скорость ветра играет большую роль в развитии атмосферных процессов. Учёт вертикальной скорости необходим при изучении атмосферных процессов в горных районах, при конвективных движениях и в некоторых других случаях. Вертикальные движения атмосферы особенно важно учитывать при рассмотрении процессов формирования облаков и осадков.

Вертикальные движения атмосферы имеют различную природу и масштабы. Можно выделить следующие классы вертикальных движений:

1) неупорядоченные вертикальные движения, связанные с турбулентностью, в результате чего могут образовываться слоистые или слоисто-кучевые облака, если турбулентность захватывает нижние слои воздуха, или же высоко-кучевые облака, если турбулентность возникает на больших высотах;

2) упорядоченные вертикальные движения, связанные с конвекцией, местными вихрями, местными циркуляционными системами (бризы, горно-долинные ветры). Эти движения являются локальными и непродолжительными. Конвективный поток влажного тёплого воздуха обусловливает бурную конденсацию водяного пара и, как следствие, – образование конвективной облачности (кучево-дождевых облаков) и сопровождающих их явлений – гроз, ливней, града, шквалов;

1. вертикальные движения, обусловленные волновыми движениями в атмосфере различного происхождения, в результате чего могут возникать так называемые волнистые облака – Cc undulatus, Cs und., Ac und., As und., Sc und., St und;

4) местные орографические явления, представляющие собой опускание или подъём воздуха по склонам горных хребтом и других неровностей. Когда движущийся в горизонтальном направлении воздух встречает на своем пути барьер в виде холмов или горных хребтов, он должен обойти его сверху или сбоку. Иногда воздух начинает накапливаться позади этого барьера. При накоплении создается его избыток, и воздушная масса вынуждена подниматься выше барьера, чтобы его преодолеть;

5) упорядоченные вертикальные движения, обусловленные приземным трением и нестационарностью атмосферных процессов (изменение во времени и пространстве).

При анализе процессов синоптического масштаба наибольшую роль играют упорядоченные вертикальные движения воздуха. Упорядоченные вертикальные движения одного знака охватывают обширные территории, значительный слой атмосферы и имеют длительное время существования. Поскольку этот процесс является макромасштабным, то на него большое влияние оказывает вращение Земли, что приводит к образованию циклонов и антициклонов.

Упорядоченные вертикальные движения, наряду с адвекцией, вызывают наиболее существенные изменения в распределении температуры и влажности в атмосфере. Причем, адвекция тепла благоприятствует развитию восходящих движений в атмосфере, адвекция холода – нисходящих. Упорядоченные вертикальные движения играют наиболее важную роль в формировании явлений погоды, связанных с конденсацией водяного пара в атмосфере. При поднятии воздуха в нём происходит понижение температуры до точки росы, что приводит к конденсации водяного пара и образованию облаков. Восходящие вертикальные движения приводят к формированию обширных и хорошо развитых по вертикали облачных полей и зон обложных осадков.

В циклоне в приземном слое в результате действия силы трения, движущиеся воздушные массы приобретают составляющую, направленную по барическому градиенту, т.е. к центру циклона (в свободной атмосфере при отсутствии силы трения вращение воздуха происходит по касательной к изогипсам). Линии тока в циклоне пересекают изобары, образуя с градиентом угол, меньше прямого. В результате чего воздух в приземном слое стремится к центру циклона, который является точкой конвергенции. Конвергенция линий тока к центру циклона в нижних слоях атмосферы приводит к общему восходящему движению воздуха в области циклона. Кроме того, в циклоне в соприкосновение вступают воздушные массы различного происхождения, обусловливая упорядоченный подъём более тёплого воздуха вдоль клина холодного, что приводит к формированию облаков восходящего скольжения – слоистообразных облаков As-Ns.

В антициклоне, наоборот, в приземном слое в результате действия силы трения, движущиеся воздушные массы приобретают составляющую, направленную от центра антициклона. Линии тока в антициклоне у поверхности Земли расходятся от центра антициклона, являющегося областью дивергенции. Угол между ветром и градиентом в антициклоне тот же, что и циклоне – меньше прямого. В результате чего воздух в приземном слое в антициклоне совершает нисходящее движение. Облачность не образуется, а имеющаяся – размывается.

Как известно, при опускании воздушных масс, вследствие динамического сжатия воздуха, происходит их прогревание. Отметим, что в некоторых случаях при нисходящих движениях в антициклоне их скорости в различных слоях атмосферы могут изменяться, что может привести к образованию инверсии оседания. Благодаря развитию турбулентности происходит перенос влаги снизу вверх, влагосодержание под инверсией увеличивается. Непосредственно под инверсией влажность часто достигает 100%. Здесь же скапливаются аэрозольные частицы. Под этим слоем может начаться конденсация водяного пара. Под инверсией образуются слоистые облака St. В некоторых случаях могут начаться моросящие осадки, а при увеличении вертикальной мощности облачности – и обложные.

Итак, динамическое изменение давления (накопление или разрежение масс воздуха) обусловливает развитие вертикальных движений от нестационарности. С вертикальными движениями от нестационарности связано адиабатическое (за счёт внутренней энергии) нагревание масс воздуха вследствие динамического сжатия при нисходящих движениях и адиабатическое охлаждение вследствие динамического расширения при восходящих движениях. Динамическое изменение давления, вызывая сжатие или расширение объёма воздуха, обусловливает динамическое изменение температуры. Упорядоченные вертикальные движения, наряду с адвекцией, вызывают наиболее существенные изменения в распределении температуры и влажности в атмосфере.

Ветер – векторная величина и характеризуется направлением и числовым значением или модулем. Ветер – это движение воздуха относительно земной поверхности. В метеорологии под ветром понимается горизонтальная составляющая этого движения. Именно она определяется с помощью станционных приборов – флюгера, анемометра.

Но необходимо помнить, что, кроме горизонтальных составляющих вектора ветра, измеряемых в м/с или км/ч, имеется ещё и вертикальная составляющая ветра, которая значительно меньше горизонтальной составляющей – порядка см/с. Вертикальная составляющая ветра не измеряется, а рассчитывается специальными методами, при характеристике вертикальных перемещений воздушных масс. Вертикальная составляющая ветра проявляется особенно значительно в случае ярко выраженной конвекции и при орографических опусканиях воздушных масс (фён, бора). В этом случае вертикальная скорость может превышать 20 м/с.

Поле ветра тесно связано с полем давления. Связь между ветром и горизонтальным распределением атмосферного давления выражается в том, что ветер отклоняется от барического градиента в северном полушарии вправо, в южном – влево. Причём, угол отклонения близок к прямому в свободной атмосфере и менее 90° в приземном слое вследствие действия силы трения. При проведении изобар и изогипс обязательно учитывают скорость и направление ветра, что выражается в густоте изобар и изогипс.

Атмосферные движения, как и всякие движения, определяются взаимодействием нескольких сил, что находит свое отражение в соответствующих уравнениях.

**Часть 4**

*Воздушные массы и их географическая классификация*

Воздушной массой называется большой объём воздуха, имеющий горизонтальные размеры во много сотен или несколько тысяч километров и вертикальные размеры в несколько километров, характеризующийся примерной однородностью температуры и влагосодержания по горизонтали.

Однородность свойств воздушной массы достигается формированием её над однородной подстилающей поверхностью в сходных условиях теплового и радиационного баланса.

Кроме того, необходимы такие циркуляционные условия, при которых воздушная масса длительно циркулировала бы в регионе формирования. Значения метеорологических элементов в пределах воздушной массы меняются незначительно – горизонтальные градиенты малы. Резкое возрастание градиентов метеорологических величин, или, по крайней мере, изменение величины и направления градиентов происходит в переходной зоне между двумя воздушными массами – зоне атмосферного фронта.

В качестве характерного признака той или иной воздушной массы, помимо приземной температуры воздуха (лучше всего использовать максимальную дневную температуру Тмакс – поскольку в другое время суток, особенно ночью и утром, контрасты приземных температур более сглажены), очень успешно можно применять Т850 (температура воздуха на уровне 850 гПа – около 1,5 км над уровнем моря). То, что именно Т850 является удачным объективным критерием фронтальных процессов (а, следовательно, и критерием, позволяющим идентифицировать тип воздушной массы), связано с близостью уровня 850 гПа к верхней границе пограничного слоя атмосферы, где довольно четко проявляются общие закономерности термического и фронтального режима нижней тропосферы, и в то же время невелико влияние суточного хода метеовеличин и трансформации воздушных масс на атмосферные процессы.

Объекты, возникающие в тропосфере в результате взаимодействия воздушных масс – переходные зоны (фронтальные поверхности), фронтальные облачные системы облачности и осадков, циклонические возмущения, имеют тот же порядок величины, что и сами воздушные массы – сравнимы по площади с большими частями материков или океанов, время их существования – более 2-х суток.

Очагами формирования воздушных масс обычно бывают области, где воздух опускается, а затем распространяется в горизонтальном направлении – этому требованию отвечают антициклонические системы. Антициклоны чаще, чем циклоны, бывают малоподвижными, поэтому формирование воздушных масс обычно и происходит в обширных малоподвижных (квазистационарных) антициклонах. Кроме того, требованиям очага отвечают малоподвижные и размытые термические депрессии, возникающие над нагретыми участками суши. Наконец, формирование полярного воздуха происходит частично в верхних слоях атмосферы в малоподвижных, обширных и глубоких центральных циклонах в высоких широтах. В этих барических системах происходит трансформация (превращение) тропического воздуха, втянутого в высокие широты в верхних слоях тропосферы, в умеренный воздух.

Воздушные массы классифицируют, прежде всего, по очагам их формирования в зависимости от расположения в одном из широтных поясов. Согласно географической классификации, воздушные массы можно подразделить на основные географические типы по тем широтным зонам, в которых располагаются их очаги:

1. Арктический или антарктический воздух (АВ),
2. Умеренный воздух (УВ),
3. Тропический воздух (ТВ).

Данные воздушные массы, кроме того, можно подразделять на морские (м) и континентальные (к).

Как показывает практика, поскольку умеренная воздушная масса имеет значительную меридиональную протяжённость (в СНГ примерно от 45-48° до 60-65° северной широты), её термические (и другие) свойства значительно различаются в северной и в южной частях этой обширной географической зоны, поэтому правильнее подразделить умеренную ВМ на две самостоятельные – северную умеренную (СУВ) и южную умеренную (ЮУВ).

*Трансформация воздушных масс*

При перемещении воздушная масса начинает изменять свои свойства – они уже будут зависеть не только от свойств очага формирования, но и от свойств соседних воздушных масс, от свойств подстилающей поверхности, над которой проходит воздушная масса, а также от длительности времени, прошедшего с момента образования воздушной массы. Эти влияния могут вызвать изменения в содержании влаги в воздухе, а также изменение температуры воздуха в результате высвобождения скрытой теплоты или теплообмена с подстилающей поверхностью.

Процесс изменения свойств воздушной массы называется трансформацией или эволюцией. Трансформация, связанная с движением воздушной массы, называется динамической. Скорости перемещения воздушной массы на разных высотах будут различными, наличие сдвига скоростей вызывает турбулентное перемешивание. Если нижние слои воздуха нагреваются, то возникает неустойчивость и развивается конвективное перемешивание. Обычно процесс трансформации воздушной массы продолжается от 3 до 7 суток. Признаком его окончания является прекращение существенных изменений температуры воздуха день ото дня как вблизи земной поверхности, так и на высотах.

*Термодинамическая классификация воздушных масс*

Тёплой (холодной) называют воздушную массу, которая теплее (холоднее) окружающей её среды и в данном районе постепенно охлаждается (нагревается), стремясь приблизиться к тепловому равновесию. Под окружающей средой здесь понимается характер подстилающей поверхности, её тепловое состояние, а также соседние воздушные массы.

Чтобы определить, охлаждается или прогревается воздушная масса в данном районе, следует в течение несколько дней сравнивать Тмакс (максимальную дневную приземную температуру воздуха) или Т850 (температуру воздуха на уровне 850 гПа, около 1,5 км над уровнем моря).

Местной (нейтральной) воздушной массой называют массу, находящуюся в тепловом равновесии со своей средой, т.е. день за днем сохраняющую свои свойства без существенных изменений (Тмакс день ото дня изменяется не более чем на 1-2°). Таким образом, трансформирующаяся воздушная масса может быть и тёплой, и холодной, а по завершении трансформации она становится местной.

На карте АТ850 холодной воздушной массе соответствует ложбина или замкнутая область холода (очаг холода), тёплой – гребень или очаг тепла. Воздушная масса может характеризоваться как неустойчивым, так и устойчивым равновесием. Данное разделение воздушных масс учитывает один из важнейших результатов теплового обмена – вертикальное распределение температуры воздуха и соответствующий ему вид вертикального равновесия. С устойчивыми (УВМ) и неустойчивыми (НВМ) воздушными массами связаны определённые условия погоды. Нейтральные (местные) воздушные массы в любой сезон могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми в зависимости от начальных свойств и направления трансформации той воздушной массы, из которой образовалась данная воздушная масса.

Устойчивой называют воздушную массу, в которой преобладает устойчивое вертикальное равновесие, т.е. в основной её толще вертикальный температурный градиент меньше влажноадиабатического. Термическая конвекция в УВМ не развивается, а динамическая развита слабо. Среднее значение вертикального температурного градиента в УВМ обычно меньше 0,6°/100 м. Здесь встречаются слои инверсии и изотермии (задерживающие слои). В УВМ могут возникать облака турбулентного обмена – слоистые и слоисто-кучевые. Если же уровень конденсации лежит выше верхней границы турбулентного слоя, то наблюдается ясная погода. Значительных осадков в УВМ не наблюдается, из слоистых облаков, достигших значительной вертикальной мощности, в ряде случаев могут выпадать моросящие осадки, а из слоисто-кучевых зимой – слабый снег. Благодаря слабому вертикальному обмену, в УВМ обычно наблюдаются дымки, а в ряде случаев и туманы.

Тёплая устойчивая воздушная масса над материками наблюдается, как правило, в холодную половину года, и поступает в данный регион в тёплых секторах циклонов и примыкающих к ним северных окраинах антициклонов. В отдельных случаях вертикальная мощность слоистых облаков возрастает настолько, что они превращаются в слоисто-дождевые и начинают давать обложные осадки. Вертикальное распределение температуры воздуха представлено слоями инверсии и изотермии, либо малых температурных градиентов до высоты 3-4 км.

Холодная устойчивая воздушная масса наблюдается над материками, в основном, зимой. Основной тип – морозная безоблачная погода, иногда с радиационными туманами. Дополнительный тип – значительная и сплошная слоистая и слоисто-кучевая облачность, иногда слабые снегопады.

Неустойчивой (НВМ) называется воздушная масса, в основной толще которой преобладает влажнонеустойчивая стратификация, что при достаточной влажности приводит к формированию конвективных облаков.

Для НВМ характерны кучевые и кучево-дождевые облака, зимой – слоисто-кучевые с отдельными плоскими кучево-дождевыми. Приземная скорость ветра в неустойчивой воздушной массе при одной и той же величине барического градиента больше, чем в устойчивой. Ветер часто бывает порывистым, а при прохождении кучево-дождевых облаков порой наблюдаются шквалы. Наиболее ярко неустойчивость проявляется в образовании развитых кучево-дождевых облаков, выпадении ливневых осадков, развитии гроз. Чем больше неустойчивость воздушной массы, тем больших высот достигает верхняя граница кучево-дождевой облачности.

Тёплая неустойчивая воздушная масса над материками наблюдается летом, вблизи побережий морей может наблюдаться и зимой. Тёплая воздушная масса может быть неустойчивой в тёплых секторах циклонов и на западной периферии антициклонов: наблюдается кучевая облачность, иногда кучево-дождевая с ливневыми осадками и грозами, порой с радиационными туманами (преимущественно после выпадения дождя и ночного прояснения). Вертикальный температурный градиент в значительном слое атмосферы больше влажноадиабатического.

Холодная неустойчивая воздушная масса наблюдается в тыловых частях циклонов за холодными фронтами и частично в примыкающих к ним окраинам антициклонов: наблюдается кучевая, кучево-дождевая облачность, ливневые осадки, часто многократно повторяющиеся, иногда днем грозы. Суточный ход метеорологических элементов велик. Холодная неустойчивая воздушная масса особенно характерно проявляется весной – "апрельская погода", когда в северной зоне умеренных широт ещё лежит снег, а в южной зоне почва уже заметно прогрелась.

Особенно велико влияние на устойчивость воздушной массы свойств подстилающей поверхности. Если воздушная масса теплее подстилающей поверхности, то в приземном слое она охлаждается. У Земли температуры воздуха могут стать ниже, чем на более высоких уровнях. В этом случае в атмосфере могут образоваться задерживающие слои. Воздушная масса становится устойчивой, по крайней мере, в нижнем слое атмосферы.

Если воздушная масса холоднее подстилающей поверхности, то в приземном слое она прогревается, увеличиваются контрасты температуры между нижними слоями атмосферы и вышележащими и создаются благоприятные условия для развития конвекции: воздушная масса становится неустойчивой.

*Атмосферные фронты как объект синоптического анализа*

Неравномерное нагревание земной поверхности и нижних слоев атмосферы является причиной возникновения горизонтальных градиентов температуры. Особенно большие горизонтальные градиенты температуры воздуха создаются между высокими и низкими широтами. Вследствие горизонтального переноса тёплые и холодные воздушные массы могут сближаться друг с другом или, наоборот, удаляться друг от друга.

При сближении воздушных масс, имеющих различные характеристики, в зоне между ними увеличиваются горизонтальные градиенты температуры воздуха, влажности, давления, возрастает скорость ветра. Наоборот, при удалении воздушных масс друг от друга градиенты метеорологических величин и скорости ветра уменьшаются. Переходные зоны в тропосфере, в которых происходит сближение воздушных масс с различными характеристиками, называются фронтальными зонами.

В горизонтальном направлении протяжённость фронтов, как и воздушных масс, имеет тысячи километров, по вертикали – около 5 км, ширина фронтальной зоны у поверхности Земли – порядка сотни километров, на высотах – несколько сотен километров. Фронтальные зоны характеризуются значительными изменениями температуры воздуха и влажности, направлений ветра вдоль горизонтальной поверхности, как на уровне Земли, так и выше.

Проекция фронтальной поверхности на приземную синоптическую карту называется атмосферным фронтом, на карты барической топографии - высотной фронтальной зоной (ВФЗ).

"Фронтальная поверхность" – это поверхность или зона перехода, разделяющая воздушные массы с различными свойствами, в том числе, различной плотностью воздуха. Непрерывность давления накладывает определённые условия на пространственную ориентацию фронтальной поверхности. При отсутствии движения любой разрыв в поле плотностей (или зона быстрого перехода из одной воздушной массы в другую) должен быть горизонтальным. При наличии движения поверхность перехода становится наклонной, при этом более плотный воздух (холодный) образует клин под менее плотным (тёплым), а тёплый воздух совершает восходящее скольжение вдоль этого клина.

Толщина фронтальной поверхности по вертикали очень мала – несколько сотен метров, это гораздо меньше, чем ширина воздушных масс, которые она разделяет. В пределах тропосферы одна воздушная масса перекрывает другую. Ширина зоны фронта на картах погоды составляет несколько десятков километров, но при анализе синоптических карт фронт проводят в виде одной линии. Лишь на вертикальных разрезах атмосферы крупного масштаба удается выявить верхнюю и нижнюю границы переходного слоя.

Как уже говорилось, фронтальные разделы очень хорошо обнаруживаются на картах АТ850 – здесь ярче, чем в приземном слое, выражены контрасты температуры. Что касается вышележащих уровней, то здесь фронты прослеживаются недостаточно выраженно. Только некоторые, особо резкие фронты удается обнаружить на картах АТ700 и АТ500. Некоторую помощь при проведении фронтов оказывает карта ОТ500/1000, показывающая расположение и интенсивность наиболее значительных тропосферных очагов тепла и холода, между которыми обычно располагаются фронтальные разделы (в то время как размывающиеся или вновь формирующиеся фронты на этой карте могут быть незаметны).

На приземной карте погоды имеется богатая информация метеорологических станций, позволяющая уточнить положение фронтальных разделов по всему комплексу погодообразующих элементов. В поле температуры и ветра фронты наиболее чётко выражены у поверхности Земли в системе развивающихся циклонов и барических ложбин. Этому способствует сходимость воздушных течений у поверхности Земли (конвергенция), вследствие которой в зоне фронта встречаются массы воздуха с различными характеристиками, в том числе, с различной температурой. В системе антициклонов и гребней фронты в приземном слое размываются, что обусловливается расходимостью воздушных течений (дивергенцией).

*Географическая классификация атмосферных фронтов*

Исторически сложилась точка зрения, что над СССР (СНГ) циркулируют три типа воздушных масс: арктическая, умеренная и тропическая; их, соответственно, разделяют друг от друга два основных атмосферных фронта – арктический (АФ) и полярный (ПФ). Нередко выделяется и третий фронт, проходящий по территориям, заключенным между АФ и ПФ; этот третий фронт обычно считается размывающимся экземпляром арктического фронта и обозначается как прежний (старый) арктический фронт (САФ).

Однако практика показывает, как уже упоминалось выше, что умеренная ВМ по своим свойствам довольно чётко подразделяется на две вполне самостоятельные ВМ: северную умеренную и южную умеренную. Таким образом, выделяются арктическая, северная умеренная, южная умеренная и тропическая массы. Следовательно, должно существовать не два, а три полноправных основных атмосферных фронта: так называемый "старый арктический фронт" не имеет никакого отношения к арктическому фронту и разделяет северную умеренную и южную умеренную массы; однако, в силу малой изученности данного фронта, специальное название для него отсутствует, поэтому мы условно называем его умеренным фронтом (УФ).

Постоянное и самостоятельное существование УФ над рассматриваемой территорией подтвердилось в исследованиях [Бровкин В.В.]. На первый взгляд, это противоречит тому факту, что в умеренных широтах существуют обычно две планетарные высотные фронтальные зоны (ВФЗ) и, соответственно, два струйных течения. Однако противоречие это только кажущееся; на самом деле УФ бывает связан то с арктической, то с умеренной ВФЗ (как правило, с той, которая в данный момент шире, имеет больший скачок температуры и более мощное струйное течение), а нередко и переходит в некотором районе из одной ВФЗ в другую (на таком переходном участке УФ чаще всего имеет размытый характер). По-видимому, именно наличием в умеренных широтах только двух ВФЗ и объясняется бытующее до сих пор представление о существовании лишь двух основных атмосферных фронтов (АФ и ПФ); хотя в литературе многократно упоминается ([Воробьев; Руководство по краткосрочным прогнозам погоды] и т.д.), что с одной ПВФЗ могут быть связаны один или два основных фронта.

Таким образом, в соответствии с уточнённой географической классификацией воздушных масс, выделяются следующие фронты: Арктический фронт (АФ) – фронт между арктическими и умеренными воздушными массами северного полушария. Располагается на южной границе арктической воздушной массы. Обычно различают несколько одновременно существующих ветвей АФ, иногда АФ огибает непрерывно всё северное полушарие. Умеренный фронт (УФ) – разделяет северную и южную умеренную воздушные массы. Полярный фронт (ПФ) – является южной границей умеренной воздушной массы, разделяющей южную умеренную ВМ и тропическую ВМ. Пассатный фронт – фронт в тропиках, разделяющий две массы тропического воздуха с различными свойствами – старый ТВ и более свежий ТВ, который недавно образовался путем трансформации массы умеренного воздуха. Пассатный фронт обычно проходит в пассатной ложбине между двумя субтропическими антициклонами, являясь продолжением в тропиках полярного фронта. Осадки в пассатной зоне выпадают, главным образом, в связи с пассатными фронтами. Внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) – достаточно узкая и выраженная зона сходимости между северным и южным пассатами (либо между пассатом и муссоном, или между пассатом и экваториальными западными ветрами).

Атмосферные фронты на их значительном протяжении практически параллельны изотермам на картах АТ850. Конкретный фронт в данный день на всем его протяжении по рассматриваемой территории идет вдоль одной и той же изотермы Т850, отклоняясь от нее не более чем на 1° (реже – на 2°); особенно четко такая зависимость прослеживается у активных, хорошо выраженных (в ветре, явлениях и облачности) фронтов. Значение изотермы Т850, соответствующей данному фронту, является достаточно постоянным, медленно и планомерно меняясь от сезона к сезону в течение года. Более того, эти значения остаются постоянными из года в год (+/-1°) и зависят только от сезона (даты), имея правильный годовой ход. Обращает на себя внимание своеобразная "зеркальность" значений фронтальных изотерм Т850 зимой и летом: -16, -8, 0 и 0, +8, +16 соответственно. Все это, вместе с достаточно высокой временной и пространственной устойчивостью связи фронтов с определенными значениями изотерм Т850, приводит к необходимости переосмысления всей системы взглядов на фронтальные процессы в атмосфере и создания нового теоретического их обоснования.

*Классификация фронтов по пространственной протяжённости*

К основным относятся атмосферные фронты, имеющие большую горизонтальную (несколько тысяч километров) и вертикальную (несколько километров) протяжённость. Основные фронты разделяют воздушные массы, существенно различающиеся по своим свойствам, прослеживаются на приземных и высотных картах погоды. Контраст температуры в зоне основного фронта на приземной карте погоды превышает 3-5°С на 100 км, на карте АТ850 – 5-8° на 500 км. Фронты, определяемые по географическому признаку (арктические, умеренные, полярные, ВЗК), относятся к основным.

На картах барической топографии основной фронт отражается как зона сгущения изогипс и изотерм – высотная фронтальная зона (ВФЗ). Интенсивность ВФЗ зависит от разности температур встречающихся воздушных масс. В этих зонах концентрируются огромные запасы энергии. При нестационарности движения возникают крупнейшие атмосферные вихри – циклоны и антициклоны. Таким образом, ВФЗ играют огромную роль в развитии погодообразующих процессов.

Центральная изогипса зоны сгущения изогипс называется осевой. Часть ВФЗ слева от оси (по направлению переноса) называется циклонической периферией ВФЗ, справа от оси – антициклонической периферией ВФЗ. Часть ВФЗ, где в направлении потока наблюдается сходимость изогипс, называется входом ВФЗ, часть, где в направлении потока наблюдается расходимость изогипс – дельтой ВФЗ.

Отдельные ВФЗ, сливаясь друг с другом, образуют планетарную высотную фронтальную зону (ПВФЗ). ПВФЗ на огромных участках располагается преимущественно зонально, но может иметь волны большой амплитуды меридионального направления. Существуют две основные ПВФЗ. Одна разделяет арктические воздушные массы и воздушные массы умеренных широт – опоясывает северное полушарие по периферии Арктического бассейна. Вторая – разделяет воздушные массы умеренных широт и тропиков и проходит по северной периферии субтропических антициклонов.

Однозначной связи между высотными фронтальными зонами и атмосферными фронтами не существует. Нередко два примерно параллельных фронта, хорошо выраженных внизу, сливаются в верхних слоях атмосферы в одну широкую фронтальную зону. В то же время, при наличии фронтальной зоны на высотах у Земли фронт не всегда существует. Фронт в нижних слоях атмосферы отмечается, когда наблюдается приземная конвергенция потоков (в ложбинах и циклонах). При дивергенции ветра (в гребнях и антициклонах) признаки существования фронта слабо выражены или вообще отсутствуют. Непрерывная ВФЗ на большом протяжении в нижнем слое тропосферы часто разделяется на отдельные участки – существует в циклонах и отсутствует в антициклонах.

Вторичные атмосферные фронты – фронты, которые существуют только в нижней тропосфере – у поверхности Земли и не выше АТ850, а в поле температуры на бóльших высотах не обнаруживаются. Это, как правило, фронты внутри неоднородной воздушной массы, разделяющие её на две воздушные массы одного происхождения. Наиболее частый случай вторичного фронта – фронт внутри горизонтально неоднородной холодной воздушной массы (арктического или умеренного воздуха), за которым вторгается более "свежая" и более холодная часть этой же воздушной массы. Вторичные фронты нередко наблюдаются в тылу циклона за основным фронтом (от 1 до 3 вторичных фронтов). Вторичные фронты существуют не более 1-2 суток и обычно не выходят за пределы циклона, с которым они связаны.

Верхние фронты – фронты, отсутствующие у поверхности Земли, но выраженные на высотах. Они могут образоваться вследствие размывания фронта у поверхности Земли, но сохранения его на высотах. Фронты также могут самостоятельно образовываться на высотах, не достигая Земли. Когда зимой тёплый фронт перемещается над приземным слоем очень выхоложенного воздуха, то он становится замаскированным и почти не прослеживается в поле температуры у поверхности Земли. В качестве верхнего фронта можно рассматривать и ВФЗ, с которыми не связаны атмосферные фронты у Земли. Нередко перед активным тёплым фронтом (особенно в холодное полугодие) имеется 1-2 параллельных основному фронту (на расстоянии 150-200 км друг от друга) полосы плотной облачности и интенсивных осадков, называемые "верхними разделами" – по существу, это тоже верхние фронты.

*Классификация фронтов по особенностям перемещения*

Тёплыми называются фронты, перемещающиеся в сторону более холодного воздуха (наблюдается адвекция тепла). За тёплым фронтом в данный регион приходит тёплая воздушная масса.

Холодными называются фронты, перемещающиеся в сторону более тёплой воздушной массы (наблюдается адвекция холода). За холодным фронтом в данный регион приходит холодная воздушная масса.

Фронты вместе с воздушными массами перемещаются со скоростью в среднем 30-50 км/ч, а скорость холодных фронтов нередко достигает 60-70 км/ч (а иногда 80-90 км/ч). Однако при определённых условиях атмосферные фронты могут длительное время оставаться на месте; если от срока к сроку фронт практически не перемещается, то его называют малоподвижным (квазистационарным). При изменении циркуляционных условий может измениться направление перемещения фронта (знак фронта): участок тёплого фронта может превратиться в участок холодного, и наоборот. Также могут начать смещаться и участки малоподвижного фронта. В зависимости от направления смещения по отношению к тёплой или холодной воздушной массе соответствующим будет и знак фронта.

Фронты окклюзии связаны с гребнем тепла в нижней и средней тропосфере, который обусловливает крупномасштабные восходящие движения воздуха и формирование протяжённой зоны облаков и осадков. В ряде случаев фронт окклюзии возникает за счёт смыкания – процесса вытеснения вверх тёплого воздуха в циклоне за счёт того, что холодный фронт "догоняет" движущийся впереди тёплый фронт и сливается с ним (процесс окклюдирования циклона). С фронтами окклюзии связаны интенсивные осадки, в летнее время – сильные ливни и грозы.

Перемещение данного участка фронта на приземной карте погоды определяется скоростью и направлением ветра на уровне АТ700 (высота около 3 км) – это так называемый "ведущий поток". Вследствие влияния приземного трения скорость фронта оказывается обычно немного меньше скорости ведущего потока (80-90%).

В случае холодного фронта, благодаря трению, угол наклона фронтальной поверхности становится внизу очень большим, а в самом нижнем слое может даже перейти за 90°, т.е. наклон будет в другую сторону – клин холодного воздуха располагается в виде вала так, что часть холодного воздуха оказывается над тёплым. Крутизна фронтальной поверхности в виде вала проявляется в виде бурного образования ливневых облаков перед фронтом в тёплом воздухе, интенсивно вытесняемом вверх наступающим холодным валом. Естественно, холодный воздух верхних слоев не может неограниченно опережать нижние слои. Так как положение холодного воздуха над тёплым неустойчиво, то будет происходить "обрушивание" вниз холодных воздушных масс в передней части продвигающегося холодного вала. Это нисходящее движение всё время ликвидирует отставание нижних слоев и стремится уменьшить угол наклона.

Зона "волочения" на тёплом фронте также не будет растягиваться на неограниченную длину, так как турбулентность будет постепенно размывать её с тонкого конца. Следовательно, приземное трение заставляет линию фронта отставать от общего движения фронтальной поверхности, но турбулентность и нисходящее движение стремятся ликвидировать это отставание. В итоге линия фронта у поверхности Земли перемещается со скоростью, нормальной к фронту слагающей градиентного ветра или несколько меньшей.

Все виды фронтов, встречаясь с мощными горными препятствиями, оставляют много влаги на наветренной стороне хребта. По мере преодоления горного хребта облачная система фронтов нарушается, на подветренной стороне гор, когда воздушная масса, опускаясь, адиабатически нагревается, облака рассеиваются и осадки, как правило, прекращаются ("фёновый" эффект). После переваливания, когда горы остаются позади, облачная система фронтов снова восстанавливается.

*Общие характеристики фронтов*

На фронтах большое развитие получают восходящие движения воздуха, поэтому вблизи фронтов имеются благоприятные условия для образования облаков и выпадения осадков. Их появлению способствует, во-первых, сходимость ветра к линии фронта в приземном слое. Кроме того, в системе фронтов происходит подъём тёплого воздуха (восходящее скольжение) по клину холодного воздуха. Восходящие движения воздуха возникают и вследствие разности скоростей зафронтального и предфронтального воздуха, т.е. когда зафронтальный воздух движется быстрее, чем предфронтальный. Подъём воздуха происходит на тех участках фронта, где наблюдается нестационарность движения. Восходящим движениям на ранней стадии развития циклона способствует также динамическое падение давления. При подъёме воздуха происходит его адиабатическое охлаждение, формирование облачности и осадков.

Хорошо выраженный фронт имеет высоту несколько километров, чаще всего 3-5 км. С основными фронтами связаны продолжительные и обильные осадки; в системе вторичных фронтов процессы облакообразования выражены слабее, осадки кратковременны и не всегда достигают Земли.

В приземном слое вследствие сходимости воздушных потоков к оси барических ложбин здесь создаются наибольшие контрасты температуры воздуха – поэтому фронты у Земли располагаются именно вдоль осей барических ложбин. Фронты не могут располагаться вдоль осей барических гребней, где имеет место расходимость воздушных потоков, а могут лишь пересекать ось гребня под большим углом.

С высотой контрасты температур на оси барической ложбины уменьшаются – ось ложбины смещается в сторону более низких температур воздуха и стремится совместиться с осью термической ложбины, где контрасты температуры минимальны. Так с высотой фронт постепенно отходит от оси барической ложбины на её периферию, туда, где создаются наибольшие контрасты. На АТ850 фронты ещё, как правило, лежат на оси барической ложбины, на АТ700 и АТ500 – сдвинуты на её периферию. С высотой тёплый сектор циклона расширяется – линии тёплого и холодного фронтов смещаются в сторону холодной воздушной массы. Ложбины, связанные с тёплыми фронтами, обычно неглубоки и на высотах часто сглаживаются. В таких случаях фронты располагаются на периферии области высокого давления. Поскольку на высотах изогипсы примерно параллельны изотермам средней температуры нижележащего слоя, то и фронты с высотой становятся всё более параллельны изогипсам.

Если фронт лежит в барической ложбине, то направление ветра с разных сторон фронта различается, причём имеет место сходимость потоков к фронту. Прохождение фронта через пункт сопровождается правым поворотом ветра (по часовой стрелке). Если фронт находится на периферии области высокого давления, то направление ветра в холодном и тёплом воздухе примерно параллельно фронту. Здесь различаются скорости: ветер сильнее с той стороны, где давление выше. Таким образом, прохождение фронта через пункт сопровождается усилением ветра при сохранении его направления.

Если фронт перемещается, то барические тенденции по обе стороны фронта различаются либо по знаку, либо, при одинаковом знаке, по величине. За фронтом обычно давление растет, перед фронтом – падает. Наибольший рост давления имеет место за холодным фронтом, а наибольшее падение давления – перед тёплым фронтом. Прохождение фронта сопровождается изменением хода кривой давления на барограмме: либо происходит переход от падения давления к росту, либо ослабление падения, либо резкий рост давления. В случае квазистационарного (малоподвижного) атмосферного фронта изменения давления по обе стороны фронта одинаковы, как по знаку, так и по величине.

В большинстве случаев фронт хорошо выражен в термическом поле не только на высотах, но и у поверхности Земли. Однако здесь влияние подстилающей поверхности, облачности и осадков приводит нередко к возникновению ряда особенностей термического поля. Часто у поверхности Земли температура воздуха в тёплом и холодном воздухе по обе стороны фронта оказывается одинаковой, а иногда в тёплой воздушной массе даже несколько ниже, чем в холодной (при наличии плотной облачности) – фронт становится маскированным.

Поэтому при синоптическом анализе необходимо, в первую очередь, использовать исторический анализ (учитывать предыдущее положение фронтов по прошлым приземным и кольцевым картам). Правильнее сначала провести фронт на карте АТ850, а уже затем отыскивать его на приземной карте. При этом нужно помнить, что фронты (кроме фронта окклюзии) на уровне АТ850 сдвинуты (относительного приземного положения фронта) на 150-200 км в сторону холодного воздуха. Кроме того, нужно иметь в виду, что поскольку сеть станций радиозондирования в СНГ очень редкая (посему велика погрешность пространственной интерполяции при проведении изотерм Т850), положение фронтов, намеченное по фактической карте АТ850, может отличаться от приземного порой на несколько сотен километров; то есть фактическая карта АТ850 даёт лишь приблизительную схему расположения фронтов, а уточнять их положение следует по приземной и кольцевой карте. Использование прогностических (модельных) карт АТ850 лишено данного недостатка.

Контрасты температуры вдоль фронтальной зоны распределяются неравномерно. На одном участке фронт может быть динамически значимым (то есть могущим привести к циклогенезу, образованию обширных зон облаков и осадков), а на другом – динамически незначимым. Наиболее часто фронт, являющийся динамически значимым, располагается в средней части фронтальной зоны, а на периферии фронтальной зоны фронты обычно динамически незначимы. У динамически значимых фронтов контраст Т850 превышает 7° на 500 км (по нормали к фронту); активный циклогенез наблюдается в зонах двух параллельных основных фронтов с контрастом Т850 более 15° на 1000 км. В случае сближения сразу трёх основных фронтов контраст Т850 достигает 25° на 1500 км, что приводит к взрывному образованию южного циклона с развитием мощной облачности, выпадением интенсивных осадков, сопровождаемых штормовыми ветрами.

Атмосферные фронты обычно хорошо выражены в поле влажности. Фронт, как правило, характеризуется максимальными значениями точки росы и малыми горизонтальными градиентами влажности. Наличие восходящих движений на атмосферных фронтах способствует образованию облачности, вид и количество которой, а также формирование осадков, определяются характером и интенсивностью вертикальных перемещений воздуха, влажностью тёплого воздуха, стратификацией атмосферы, углом наклона фронтальной поверхности. В среднем для медленно смещающихся атмосферных фронтов, где преобладают упорядоченные восходящие движения, характерна слоисто-дождевая и высокослоистая облачность, обложные осадки. Для быстро смещающихся фронтов с развитием интенсивной конвекции характерны мощные кучевые и кучево-дождевые облака, ливневые осадки.

*Тёплый фронт*

Тёплый фронт движется в сторону холодного воздуха. На карте погоды тёплый фронт отмечается красным цветом или зачернёнными полукружками, направленными в сторону перемещения фронта. По мере приближения линии тёплого фронта начинает падать давление, уплотняются облака, выпадают обложные осадки. Зимой при прохождении фронта обычно появляются низкие слоистые облака. Температура и влажность воздуха медленно повышаются. При прохождении фронта температура и влажность обычно быстро возрастают, ветер усиливается. После прохождения фронта направление ветра меняется (ветер поворачивает по часовой стрелке), падение давления прекращается и начинается его слабый рост, облака рассеиваются, осадки прекращаются. Поле барических тенденций представлено следующим образом: перед тёплым фронтом располагается замкнутая область падения давления, за фронтом – либо рост давления, либо относительный рост (падение, но меньшее, чем перед фронтом).

В случае тёплого фронта тёплый воздух, перемещаясь в сторону холодного, натекает на клин холодного воздуха, совершает восходящее скольжение вдоль этого клина и динамически охлаждается. На некоторой высоте, определяемой начальным состоянием восходящего воздуха, достигается насыщение – это уровень конденсации. Выше этого уровня в восходящем воздухе происходит облакообразование. Адиабатическое охлаждение тёплого воздуха, скользящего вдоль клина холодного, усиливается развитием восходящих движений от нестационарности при динамическом падении давления и от сходимости ветра в нижнем слое атмосферы. Охлаждение тёплого воздуха при восходящем скольжении по поверхности фронта приводит к образованию характерной системы слоистообразных облаков (облаков восходящего скольжения): перисто-слоистые – высокослоистые – слоисто-дождевые (Cs-As-Ns).

При приближении к пункту тёплого фронта с хорошо развитой облачностью сначала появляются перистые облака в виде параллельных полос с когтевидными образованиями в передней части (предвестники тёплого фронта), вытянутые в направлении воздушных течений на их уровне (Ci uncinus). Первые перистые облака наблюдаются на расстоянии многих сотен километров от линии фронта у поверхности Земли (около 800-900 км). Перистые облака переходят затем в перисто-слоистые облака (Cirrostratus). Для этих облаков характерны явления гало. Облака верхнего яруса – перистые и перисто-слоистые (Ci и Cs) состоят из ледяных кристаллов, и осадки из них не выпадают. Чаще всего облака Ci-Cs представляют собой самостоятельный слой, верхняя граница которого совпадает с осью струйного течения, т.е. близка к тропопаузе.

Затем облака становятся всё плотнее: высокослоистые облака (Altostratus) постепенно переходят в слоисто-дождевые (Nimbostratus), начинают выпадать обложные осадки, которые ослабевают или совсем прекращаются после прохождения линии фронта. По мере приближения к линии фронта высота основания Ns снижается. Минимальное её значение определяется высотой уровня конденсации в восходящем тёплом воздухе. Высокослоистые (As) являются коллоидальными и состоят из смеси мельчайших капелек и снежинок. Их вертикальная мощность довольно значительна: начинаясь на высоте 3-5 км, эти облака простираются до высот порядка 4-6 км, т.е. имеют 1-3 км в толщину. Выпадающие из этих облаков осадки летом, проходя сквозь тёплую часть атмосферы, испаряются и не всегда достигают поверхности Земли. Зимой осадки из As в виде снега почти всегда достигают поверхности Земли, а также стимулируют выпадение осадков из нижележащих St-Sc. В этом случае ширина зоны обложных осадков может достигать ширины 400 км и более. Ближе всего к поверхности Земли (на высоте нескольких сотен метров, а порой 100-150 м и даже ниже) находится нижняя граница слоисто-дождевых облаков (Ns), из которых выпадают обложные осадки в виде дождя или снега; под слоисто-дождевыми облаками нередко развиваются разорванно-дождевые (St fr).

Облака Ns простираются до высот 3-7 км, т.е. имеют весьма значительную вертикальную мощность. Облака также состоят из ледяных элементов и капель, причём, и капли и кристаллы, особенно в нижней части облаков, более крупные, чем в As. Нижнее основание системы облаков As-Ns в общих чертах совпадает с поверхностью фронта. Поскольку верхняя граница облаков As-Ns приблизительно горизонтальна, наибольшая их толщина наблюдается вблизи линии фронта. У центра циклона, где система облаков тёплого фронта имеет наибольшее развитие, ширина облачной зоны Ns и зоны обложных осадков в среднем – около 300 км. В целом облака As-Ns имеют ширину 500-600 км, ширина зоны облаков Ci-Cs – около 200-300 км. Если спроецировать данную систему на приземную карту, то вся она окажется перед линией тёплого фронта на расстоянии 700-900 км. В отдельных случаях зона облачности и осадков может быть значительно шире или уже, в зависимости от угла наклона фронтальной поверхности, высоты уровня конденсации, термических условий нижней тропосферы.

В ночное время радиационное выхолаживание верхней границы облачной системы As-Ns и понижение температуры в облаках, а также усиление вертикального перемешивания при опускании охлаждённого воздуха внутрь облака способствует образованию ледяной фазы в облаках, росту облачных элементов и образованию осадков. По мере удаления от центра циклона восходящие движения воздуха ослабевают, осадки прекращаются. Фронтальные облака могут образовываться не только над наклонной поверхностью фронта, а в некоторых случаях – и по обе стороны от фронта. Это особенно характерно для начальной стадии циклона, когда восходящие движения захватывают зафронтальную область – тогда и осадки могут выпадать с обеих сторон фронта. Но за линией фронта фронтальная облачность обычно сильно расслоена и зафронтальные осадки чаще представлены в виде мороси или снежных зёрен.

В случае очень пологого фронта система облаков может быть смещена вперед от линии фронта. В тёплое время года восходящие движения вблизи линии фронта приобретают характер конвективных, и на тёплых фронтах нередко развиваются кучево-дождевые облака и наблюдаются ливневые осадки и грозы (как днём, так и ночью).

Летом в дневные часы в приземном слое за линией тёплого фронта при значительной облачности температура воздуха над сушей может быть ниже, чем перед фронтом. Это явление называется маскировкой тёплого фронта.

Облачность старых тёплых фронтов также может быть расслоенной на всём протяжении фронта. Постепенно эти слои рассеиваются и осадки прекращаются. Порой тёплый фронт не сопровождается осадками (особенно летом). Так бывает при малом влагосодержании тёплого воздуха, когда уровень конденсации лежит на значительной высоте. При сухости воздуха и особенно в случае его заметной устойчивой стратификации восходящее скольжение тёплого воздуха не приводит к развитию мало-мальски мощной облачности - то есть облака вообще отсутствуют, либо наблюдается полоса облаков верхнего и среднего ярусов.

*Холодный фронт*

Холодный фронт движется в сторону тёплого воздуха. На карте погоды холодный фронт отмечается синим цветом или зачернёнными треугольниками, направленными в сторону перемещения фронта. При переходе через линию холодного фронта ветер, как и в случае тёплого фронта, поворачивает вправо, но поворот более значительный и резкий – от юго-западного, южного (перед фронтом) к западному, северо-западному (за фронтом). При этом усиливается скорость ветра. Атмосферное давление перед фронтом меняется медленно. Оно может падать, но может и расти. С прохождением холодного фронта начинается быстрый рост давления. За холодным фронтом рост давления может достигать 3-5 гПа/3 ч., а иногда 6-8 гПа/3 ч. и даже более. Изменение барической тенденции (от падения к росту, от медленного роста к более сильному) свидетельствует о прохождении линии приземного фронта.

Перед фронтом часто наблюдаются осадки, а нередко грозы и шквалы (особенно в тёплое полугодие). Температура воздуха после прохождения фронта падает (адвекция холода), причём порой быстро и резко – на 5-10 °С и более за 1-2 часа. Точка росы понижается одновременно с температурой воздуха. Видимость, как правило, улучшается, поскольку за холодным фронтом вторгается более чистый и менее влажный воздух из северных широт.

Характер погоды на холодном фронте заметно различается в зависимости от скорости смещения фронта, свойств тёплого воздуха перед фронтом, характера восходящих движений тёплого воздуха над клином холодного.

На холодных фронтах 1-го рода (медленнодвижущихся) преобладает упорядоченное поднятие тёплого воздуха над клином холодного воздуха. Холодный фронт 1-го рода является пассивной поверхностью восходящего скольжения. К этому типу принадлежат медленно движущиеся или замедляющие свое движение фронты в глубоких барических ложбинах или вблизи центра циклона.

Облачность холодного фронта 1-го рода, образующаяся вследствие восходящего скольжения вдоль его поверхности вытесняемого холодным клином тёплого воздуха, является как бы зеркальным отражением облачности тёплого фронта. Она начинается с Ns, а заканчивается Cs-Ci. При этом облака расположены главным образом за линией фронта. Отличие от облачности тёплого фронта всё же существует: вследствие трения поверхность холодного фронта в нижних слоях становится крутой, поэтому перед самой линией фронта вместо спокойного и пологого восходящего скольжения наблюдается конвективный подъём тёплого воздуха. Благодаря этому, в передней части облачной системы могут возникать мощные кучевые (Cu cong.) и кучево-дождевые (Cb) облака, растянутые на сотни километров вдоль фронта, со снегопадами зимой, ливнями летом, нередко с грозами и шквалами. Над вышележащей частью фронтальной поверхности с нормальным наклоном в результате восходящего скольжения тёплого воздуха облачная система представляет равномерный покров слоистообразных облаков As-Ns. Ливневые осадки перед фронтом после прохождения фронта сменяются более равномерными обложными осадками. Затем появляются перисто-слоистые и перистые облака.

Вертикальная мощность системы As-Ns и ширина облачной системы и области осадков при этом будет значительно меньше (примерно в полтора-два раза), чем в случае тёплого фронта. Верхняя граница системы As-Ns находится на высоте около 4-4,5 км. Под основной облачной системой могут возникать слоистые разорванные облака (St fr), иногда образуются фронтальные туманы. Продолжительность прохождения холодного фронта 1-го рода через пункт наблюдения составляет 10 ч. и более.

Имеются сезонные особенности структуры холодных фронтов 1-го рода. В холодную половину года ширина облачной системы – 400-500 км, а зоны обложных осадков – до 200 км. В зоне осадков образуются разорванно-дождевые облака с нижней границей 100-150 м. В облаках и переохлаждённом дожде отмечается обледенение. Видимость в осадках снижается до значений 1000 м и менее.

В тёплую половину года на фронте, кроме основной облачной системы, нередко развиваются кучево-дождевые облака, грозы, сопровождающиеся ливневыми осадками и шквалистыми ветрами. Ширина облачной системы составляет около 300 км, зона ливневых осадков – около 50 км, далее они переходят в обложные; общая ширина зоны осадков в среднем около 150 км. В облаках отмечается обледенение, а в кучево-дождевых, кроме того, сильная болтанка.

К холодным фронтам 2-го рода относится большая часть быстро движущихся холодных фронтов в циклонах, особенно на окраинах циклонов. Здесь происходит вытеснение тёплого воздуха из нижних слоев продвигающимся вперед холодным валом. Поверхность холодного фронта в нижних слоях располагается очень круто, образуя даже выпуклость в виде вала. Быстрое перемещение клина холодного воздуха вызывает вынужденную конвекцию вытесняемого тёплого воздуха в узком пространстве у передней части фронтальной поверхности. Здесь создается мощный конвективный поток с образованием кучево-дождевой облачности, усиливающийся в результате термической конвекции в дневное время.

Предвестниками фронта являются высококучевые чечевицеобразные облака, которые распространяются перед ним на удалении до 200 км. Возникающая облачная система имеет небольшую ширину (50-100 км) и представляет собой не отдельные конвективные облака, а непрерывную цепь, или облачный вал, который может быть не сплошным (особенно при невысокой влажности воздуха). На картах обычного масштаба Cb и ливневые осадки, град и грозы не всегда могут быть выявлены (или отмечаются "между сроками").

В тёплую половину года верхняя граница (наковальни) кучево-дождевых облаков распространяется до высоты тропопаузы. На холодных фронтах 2-го рода наблюдается интенсивная грозовая деятельность, ливни, иногда с градом, шквалистые ветры. В облаках сильная болтанка и обледенение. Ширина зоны опасных явлений погоды составляет несколько десятков километров.

В холодную половину года вершины кучево-дождевых облаков достигают 3-4 км. С этой облачностью связаны короткие сильные ливневые снегопады (ширина зоны снегопада составляет 50 км), метели при видимости менее 1000 м, резкое усиление скорости ветра, болтанка. Облака холодного фронта 2-го рода имеют ярко выраженный суточный ход. Ночью облака Cb могут размываться. Днем усиливаются конвективные движения воздуха в связи с прогреванием подстилающей поверхности и развитием турбулентных движений. Поэтому наибольшего развития облака и осадки холодного фронта 2-го рода достигают в послеполуденные часы, что характерно и для внутримассовых облаков Cu и Cb.

При прохождении холодных фронтов 2-го рода через пункт наблюдений сначала (часа за 3-4 до прохождения линии фронта у Земли) появляются перистые облака, которые быстро сменяются высокослоистыми, иногда чечевицеобразными, которые быстро сменяются Cb с осадками. Продолжительность перемещения системы облаков с ливневыми осадками и грозами обычно не превышает 1-2 часа. После прохождения холодного фронта ливневые осадки прекращаются.

Особенностью холодных фронтов как первого, так и второго рода являются предфронтальные шквалы. Поскольку в передней части холодного клина, благодаря трению, создается крутой наклон фронтальной поверхности, часть холодного воздуха оказывается над тёплым. Далее происходит "обрушивание" вниз холодных воздушных масс в передней части продвигающегося холодного вала. Обрушивание холодного воздуха приводит к вытеснению вверх тёплого воздуха и к возникновению вдоль фронта вихря с горизонтальной осью. Особенно интенсивными бывают шквалы на суше летом, при большой разности температур между тёплым и холодным воздухом по обе стороны от фронта и при неустойчивости тёплого воздуха. В этих условиях прохождение холодного фронта сопровождается разрушительными скоростями ветра. Скорость ветра нередко превышает 15-20 м/с, продолжительность явления обычно несколько минут.

Вторичные холодные фронты обнаруживаются у поверхности Земли в барических ложбинах в тылу циклона за основным фронтом, где имеет место сходимость ветра. Может быть от 1 до 3 вторичных фронтов. Вторичные фронты имеют систему облаков, сходную с облачностью системы облаков холодного фронта 2-го рода, но вертикальная протяжённость облаков меньше, чем у основных. Вследствие этого, после кратковременного прояснения, наступающего вслед за прохождением основного фронта, появляются конвективные облака, связанные с вторичными фронтами, с ливневыми осадками, грозами, шквалами и метелями.

Но осадки в тылу циклона могут быть не только фронтальными, но и внутримассовыми, поскольку в тылу циклона воздушная масса неустойчива. Внутримассовыми могут быть и шквалы, связанные с мощными облаками конвекции (Cb) в жаркую летнюю погоду над сушей или в холодных неустойчивых массах над тёплой подстилающей поверхностью (в тыловой части Cb имеют место нисходящие движения, в передней - мощные восходящие, что формирует вихрь с горизонтальной осью - шквал).

*Фронты окклюзии*

Фронты окклюзии связаны с гребнями тепла в нижней и средней тропосфере. Вследствие нисходящих движений в холодном воздухе в тылу циклона, холодный фронт движется быстрее тёплого фронта и со временем нагоняет его. На стадии заполнения циклона возникают комплексные фронты – фронты окклюзии, которые образуются при смыкании холодного и тёплого атмосферных фронтов. В системе фронта окклюзии взаимодействуют три воздушные массы, из которых тёплая уже не соприкасается с поверхностью Земли. Тёплый воздух в виде воронки постепенно поднимается вверх, а его место занимает холодный воздух, поступающий с боков. Поверхность раздела, возникающую при смыкании холодного и тёплого фронтов, называют поверхностью фронта окклюзии. С фронтами окклюзии связаны интенсивные осадки, летом – сильные грозы.

Смыкающиеся при окклюдировании воздушные массы обычно имеют разную температуру: одна может быть холоднее другой. В соответствии с этим, различают два типа фронтов окклюзии: фронты окклюзии типа тёплого фронта и фронты окклюзии типа холодного фронта.

В средней полосе СНГ зимой преобладают тёплые фронты окклюзии, так как в тылу циклона поступает морской умеренный воздух, который значительно теплее, чем континентальный умеренный воздух в передней части циклона. Летом здесь в основном наблюдаются холодные фронты окклюзии.

Барическое поле фронта окклюзии представлено хорошо выраженной ложбиной с V-образными изобарами. Перед фронтом на синоптической карте имеется область падения давления, связанная с поверхностью тёплого фронта, за фронтом окклюзии – область роста давления, связанная с поверхностью холодного фронта. Точка на синоптической карте, от которой расходятся остающиеся несомкнутыми участки тёплого и холодного фронтов в окклюдирующем циклоне – точка окклюзии. По мере окклюдирования циклона точка окклюзии смещается к его периферии.

В передней части фронта окклюзии наблюдают Ci, Cs, As, а в случае активных фронтов окклюзии – Ns. Если в окклюдировании участвует холодный фронт первого рода, то выше верхнего тёплого фронта может остаться часть облачной системы холодного фронта. Если же участвует холодный фронт второго рода, то за верхним тёплым фронтом наступает прояснение, но у нижнего холодного фронта может развиться вал Cb уже в переднем холодном воздухе, вытесняемом более холодным тыловым клином. Таким образом, выпадение осадков из As-Ns, если оно происходит, может начинаться до выпадения ливневых осадков, или одновременно с прохождением нижнего холодного фронта, либо после его прохождения; осадки могут выпадать по обе стороны от нижнего фронта, а переход от обложных осадков к ливневым, если он имеет место, происходит не впереди нижнего фронта, а в непосредственной близости к нему.

Сближающиеся системы облаков тёплого и холодного фронтов в основном состоят из As-Ns. В результате сближения возникает мощная облачная система Cs-As-Ns с наибольшей толщиной у верхнего холодного фронта. В случае молодого фронта окклюзии облачная система начинается с Ci и Cs, кото-рые переходят в As, затем в Ns. Иногда за Ns могут наблюдаться Cb, за которыми вновь идут Ns. Слабое восходящее скольжение тылового воздуха вдоль поверхности окклюзии может привести к образованию вдоль нее облаков типа St-Sc, не достигающих уровня ледяных ядер. Из них перед нижним тёплым фронтом будет выпадать моросящие осадки. В случае старого тёплого фронта окклюзии облачная система состоит из Cs и Ac, иногда к ним присоединяются As; осадки могут отсутствовать.

*Влияние подстилающей поверхности на эволюцию и перемещение фронтов*

Подстилающая поверхность оказывает значительное влияние на перемещение и свойства фронтов. В пределах нижних сотен метров влияние трения приводит к деформации профиля фронта. Неравномерность трения, связанная с различием в характере подстилающей поверхности, также приводит к деформации профиля фронта, особенно в условиях сложного рельефа. Орографические препятствия могут влиять на перемещение фронтов и вызывать как деформации самих фронтов, так и изменения связанных с ними эффектов, или создавать новые эффекты. Переваливание фронтов через горные препятствия отражается на процессах облако- и осадкообразования. Воздух вообще стремится обтекать препятствия в горизонтальном направлении, так как при этом происходит наименьшая затрата энергии. В том случае, если воздух стратифицирован неустойчиво, он частично перетекает через хребет, особенно в центральной его части. Это перетекание в десятки раз менее интенсивно, чем боковое обтекание. Кроме того, оно имеет резко турбулентный характер, благодаря сильному трению в условиях горного рельефа.

Фронт, пересекающий горный хребет, частично разрушается, линия фронта приобретает "извилистый" характер. Даже низкие препятствия частично будут обтекаться горизонтально, а при устойчивой стратификации и высоких препятствиях единственно возможное перетекание - горизонтальное. При приближении холодного фронта к хребту происходит восходящее движение тёплого воздуха, который оказывается "зажатым" между клином холодного воздуха и хребтом, усиливаются процессы облако- и осадкообразования перед фронтом. Ветер перед фронтом также усиливается, так как сближаются линии тока в тёплом воздухе, между холодным фронтом и хребтом.

При приближении собственно холодного фронта к хребту зафронтальная масса обтекает её с обеих сторон. Обогнув хребет, обе ветви зафронтальной массы могут соединиться за хребтом. В этом случае наблюдается явление орографической окклюзии. Если холодный фронт движется быстро, а препятствие невысокое, то фронт может начать переваливать через него. Перетекание холодного воздуха через хребет возможно и в том случае, если первоначально фронт не достиг вершины хребта, но мог задержаться перед хребтом с накоплением воздуха и увеличением своей мощности. Если горизонтальное обтекание хребта затруднено, этот процесс может быть довольно интенсивным. Вслед за основным холодным фронтом подходят вторичные, вытесняющие переднюю часть воздушной массы вверх. Мощность холодной массы возрастает настолько, что воздух начинает переваливать через хребет. При переваливании холодного воздуха через хребет на наветренной стороне гор будут наблюдаться длительные и сплошные осадки. На подветренной стороне при опускании воздуха вдоль высокого хребта происходит его адиабатическое нагревание с рассеиванием облаков – фён. При малой высоте хребта воздушная масса не успевает прогреваться и происходит обвал холодного воздуха – бора.

Тёплый фронт также некоторое время задерживается перед хребтом вместе с частью предфронтальной холодной воздушной массы. При этом в холодном воздухе также усиливаются скорости ветра. С боков хребта тёплый фронт будет продолжать свое продвижение. Орографической окклюзии в этом случае не наблюдается, так как за фронтом движется тёплый воздух, распространяющийся над холодным. В вертикальном разрезе тёплый фронт, подойдя к хребту, деформируется. До момента, когда поверхность тёплого фронта соприкоснется с вершиной хребта, фронт, его облачная система и область осадков остаются невозмущёнными. Но при пересечении хребта нижняя часть холодного клина задерживается с наветренной стороны хребта. На подветренной стороне хребта фронтальная поверхность, с одной стороны, увлекается воздушным течением вниз. При этом происходит фёновый эффект с размыванием облаков и ослаблением осадков. Но затем, при дальнейшем продвижении фронтальной поверхности за хребтом профиль фронтальной поверхности восстанавливается, а вместе с этим, восстанавливаются (возобновляются) облака и осадки восходящего скольжения.

Температурный режим подстилающей поверхности, отражаясь на температуре нижних слоев, искажает или маскирует свойства фронтов. Зимой обычно случаи маскировки фронтов связаны с наличием у поверхности Земли тонкого – мощностью несколько сотен метров – слоя сильно выхоложенного воздуха. Особенно это проявляется в горных районах, где холодный воздух скапливается в отрицательных формах рельефа и застаивается там. Воздушные массы, вторгающиеся на такой слой, могут распространяться над этой пленкой холодного воздуха, не нарушая её и не достигая поверхности Земли. Слой тумана в плёнке холодного воздуха может замаскировать и фронтальную облачную систему. Прохождение фронта в этом случае не вызывает изменений температуры воздуха у поверхности Земли, но отражается в поле барических тенденций, ветра. Прохождение холодного фронта иногда сопровождается прорывами пленки холодного воздуха вследствие турбулентности. При этом может повыситься температура воздуха, поскольку воздух за холодным фронтом у Земли будет иметь более высокую температуру, чем воздух холодного слоя. В этих случаях создается видимость прохождения тёплого фронта.

В некоторых случаях под влиянием термических различий подстилающей поверхности возникают так называемые "мнимые" фронты. Это происходит вследствие скачка в распределении температуры или других метеорологических элементов в нижних слоях воздуха, обусловленного непосредственно влиянием тепловых различий, например, между сушей и морем, особенно в зимнее время года, в местах выхода на поверхность глубинных холодных вод, в районах тёплых течений, вдоль кромки льда и т.д., не связанных с атмосферной поверхностью раздела. Таким образом, опираясь на приземные признаки, можно предположить существование фронта там, где его нет. Но следует отметить, что при длительном воздействии подстилающей поверхности мнимый фронт может трансформироваться в действительный (это так называемый топографический фронтогенез). Примером такого фронтогенеза является образование арктического фронта вдоль кромки льдов. Арктический фронт формируется в арктическом бассейне (около 70 ° или ещё севернее). Здесь определённую роль играет различие температуры открытого моря и полярных льдов. У кромки льдов создается разрыв температуры и влажности воздуха: над открытым морем воздух прогревается и увеличивает влагосодержание, надо льдами – охлаждается. Если такое положение сохраняется недолго, то различие в температуре воздуха надо льдами и открытым морем распространяется только на нижние слои воздуха. Поверхности раздела, распространяющейся на большую высоту, в этом случае не возникает. Мы будем иметь лишь мнимый фронт. Но если воздух долгое время течет примерно параллельно кромке льда, т.е. вдоль изотерм, он подвергается длительному воздействию подстилающей поверхности. Различия в температуре и влагосодержании могут распространяться на более высокие слои и привести к образованию настоящей фронтальной поверхности вдоль границ льдов и открытого моря. Благоприятные условия для топографического фронтогенеза создаются, где полярные льды граничат с тёплыми водами Гольфстрима.

*Образование и размывание атмосферных фронтов*

Адвекция (горизонтальный перенос воздушных масс) в атмосфере играет основную роль в междуширотном обмене воздуха. Особенно интенсивна она при активной циклонической и антициклонической деятельности. В результате междуширотного обмена происходит перераспределение тепла и холода. При этом между высокими холодными циклонами и высокими тёплыми антициклонами возникают зоны перехода в виде сгущения изогипс – высотные фронтальные зоны (ВФЗ), где концентрируются огромные запасы энергии, которая расходуется, в том числе, и на формирование циклонов и антициклонов, образование и активизацию атмосферных фронтов. В тыловой части ВФЗ, называемой входом фронтальной зоны тропосферы, в направлении воздушных течений отмечается сходимость изогипс АТ и увеличение горизонтальных градиентов давления и температуры. В передней части ВФЗ, называемой дельтой фронтальной зоны тропосферы, в направлении воздушных течений отмечается расходимость изогипс АТ и уменьшение горизонтальных градиентов давления и температуры.

Значительная адвекция масс воздуха в ВФЗ приводит к процессам фронтогенеза и фронтолиза. Фронтогенез – это возникновение новых атмосферных фронтов или усиление существующих, фронтолиз - размывание фронтов. Процессы фронтогенеза и фронтолиза связаны с деформацией высотной фронтальной зоны. Фронтогенез определяется увеличением горизонтальных градиентов температуры между массами воздуха, обладающими различными свойствами, фронтолиз - уменьшением горизонтальных градиентов температуры между этими массами воздуха.

Процессы фронтогенеза и фронтолиза ярко проявляются в деформационных полях тропосферы: это термобарические поля, образованные двумя парами накрест лежащих циклонов и антициклонов с соответствующими им очагами тепла и холода.

Тропосферный фронтогенез (фронтолиз) обычно охватывает всю толщу тропосферы или значительную часть её; существование основных фронтов связано с тропосферным фронтогенезом. Приземный фронтогенез (фронтолиз) характеризуется увеличением (уменьшением) горизонтальных градиентов температуры, обусловленных сходимостью или расходимостью течений в приземном слое; существование приземных фронтов связано с приземным фронтогенезом.

Фронтогенез и фронтолиз осуществляются непосредственно под влиянием адвективных и динамических факторов: адвективные факторы определяют кинематику фронтогенеза и фронтолиза, не влияя непосредственно на эволюцию процессов, связанных с ними; динамические факторы определяют динамику фронтогенеза и фронтолиза и обусловливают непосредственно эволюцию тропосферных процессов.

Тропосферный фронтогенез почти всегда сопровождается динамическим ростом давления, а тропосферный фронтолиз – динамическим падением давления. Это очень важное обстоятельство, поскольку позволяет по структуре термобарического поля тропосферы делать качественные выводы о развитии синоптических процессов.

Существование приземных фронтов связано с приземным фронтогенезом. Приземный фронтогенез приводит к "разрывам" поля температуры воздуха у поверхности Земли (то есть формированию узких, 50-100 км, зон высоких горизонтальных градиентов температуры).

При циклонической кривизне изобар (барическая ложбина) вследствие сходимости течений приземного ветра осуществляется фронтогенез. Наибольшая сходимость течений наблюдается вдоль оси ложбины, где имеет место наибольшая циклоническая кривизна изобар и где обычно располагается приземный фронт. Здесь приземный фронт может только обостряться (фронтогенез). При антициклонической кривизне изобар (барический гребень) вследствие расходимости течений приземного ветра осуществляется фронтолиз. Наибольшая расходимость течений наблюдается вдоль оси гребня, где имеет место наибольшая антициклоническая кривизна изобар. Здесь приземный фронт может только размываться (фронтолиз).

В поле квазипрямолинейных изобар, когда фронт находится на периферии области низкого давления, фронтогенез и фронтолиз обусловлены неравномерным распределением скорости переноса по обе стороны от атмосферного фронта. В зоне сгущения изобар скорость ветра наибольшая, и, соответственно, а в области разреженных изобар – наименьшая. Если скорость переноса увеличивается в сторону высокого давления, т.е. в ту сторону, откуда направлен поток, изотермы слева от фронта по направлению изобар (со стороны низкого давления), ввиду малых скоростей, не успевают существенно переместиться до того, как к ним с другой стороны фронта приблизятся новые изотермы. Фронт обостряется, т.е. имеет место приземный фронтогенез. Если скорость течений уменьшается в сторону высокого давления, изотермы слева от фронта по направлению изобар (со стороны низкого давления), ввиду больших скоростей, перемещаются быстрее, чем успевают приблизиться новые изотермы со стороны высокого давления, и фронт размывается.

Аналогично будут происходить процессы обострения и размывания фронта по обе стороны на периферии циклона при неравномерном распределении градиента давления в нём. Если изотермы у поверхности Земли пересекаются с циклонически изогнутыми изобарами (в барической ложбине), то возникает сходящаяся система течений, приводящая к приземному фронтогенезу. Происходящее при этом сближение изотерм у поверхности Земли может вызвать возникновение нового или обострение уже существующего фронта. Если изотермы у поверхности Земли пересекаются с антициклонически изогнутыми изобарами (барический гребень), то возникает расходящаяся система течений, приводящая к приземному фронтолизу. Происходящее при этом разрежение приземных изотерм вдоль линии фронта приводит к размыванию уже существующего фронта.

Если изотермы и изобары у поверхности Земли параллельны между собой, то при уменьшении скорости ветра в сторону высокого давления, возникающее разрежение изотерм приводит к приземному фронтолизу, при увеличении скорости переноса в сторону высокого давления возникающее сгущение изотерм в области фронта приводит к приземному фронтогенезу.

**Часть 5**

Циклогенез / Антициклогенез – условия термобарического поля тропосферы, благоприятные для возникновения и развития циклонв / антициклонов.

Атмосфера является чрезвычайно подвижной средой, где постоянно формируются и разрушаются вихри различных размеров. Наиболее крупные атмосферные вихри – внетропические циклоны и антициклоны, имеющие различные размеры и достигающие в диаметре нескольких тысяч километров.

Циклоном называется атмосферное возмущение с пониженным давлением воздуха и минимальным давлением в центре. Циклоны образуются на фронтах, разделяющих воздушные массы различного географического происхождения (например, арктического воздуха и воздуха умеренных широт). При этом возникают мощные завихрения воздуха, подобного тому, как при встрече двух потоков воды возникают водовороты. Эти завихрения имеют в поперечнике несколько сотен километров, а иногда 2000-3000 км. Ветры в циклоне дуют к центру от периферии, отклоняясь влево и направляясь по движению против часовой стрелки. Обычно с прохождением циклона связывают ненастную погоду с осадками и сильными ветрами. Но циклон состоит из нескольких разнородных воздушных масс, различающихся по характеристикам погоды. В циклоне может быть и ненастная, и солнечная погода – в зависимости от свойств воздушных масс в передней и тыловой его частях.

По принятой классификации в зависимости от вертикальной протяженности циклоны подразделяются на низкие – замкнутые изобары (изогипсы) есть на приземных картах и на картах АТ-925 и АТ-850, но их нет на картах АТ-700; средние – замкнутые изогипсы прослеживаются до поверхности 400 гПа, но их нет на уровне 300 гПа; высокие – замкнутые изогипсы прослеживаются на всех уровнях, включая поверхность 300 гПа; верхние – замкнутые изогипсы есть на некоторых уровнях в тропосфере, но нет замкнутых изобар у земной поверхности; и стратосферные – высокие циклоны, проникающие в стратосферу, или там образовавшиеся.

В жизни циклона и антициклона выделяют несколько стадий развития: 1) начальная стадия (стадия волны) – от момента возникновения до появления первой замкнутой изобары на приземной карте погоды;

2) стадия молодого циклона – от момента оформления циклона до начала окклюдирования;

3) стадия максимального развития циклона – от начала окклюдирования до начала заполнения;

4) стадия заполнения циклона – от момента начала заполнения до полного исчезновения на приземной карте.

Основными факторами, влияющими на возникновение и эволюцию и циклонов, и антициклонов, являются:

1) адвекция температуры; 2) характер подстилающей поверхности (её термические свойства); 3) характер устойчивости воздушных масс; 4) волновые движения большого масштаба; 5) нестационарность атмосферных движений; 6) вихревые движения и центробежные сила; 7) силы трения в приземном слое; 8) сила Кориолиса; 9) орография района; 10) взаимосвязь процессов в нижней тропосфере с процессами в верхней тропосфере и стратосфере.

Частицы воздуха, перемещаясь по инерции, переносят определенный вихрь скорости. [Вихрь скорости характеризует тенденцию вращательного движения частиц воздуха; обычно рассматривают только вертикальную составляющую вихря скорости, т.е. тенденцию к горизонтальному вращению частиц вокруг вертикальной оси] В том районе, куда переместились частицы, выявляется несоответствие поля скоростей и поля давления, в результате чего происходит их адаптация. Изменение полей скорости и давления приводит к возникновению, эволюции и перемещению циклонов (антициклонов), а дополнительным фактором возникновения и развития барических образований является термический фактор, связанный с бароклинностью атмосферы. [Такое распределение массы жидкости (газа), при котором плотность является функцией не только давления, но и других параметров: в сухом воздухе — температуры, а во влажном воздухе — еще и влажности. В бароклинной атмосфере изопикнические и изостерические поверхности, т. е. поверхности равной плотности и равного удельного объема, не совпадают с изобарическими поверхностями, а пересекаются с ними, образуя изобаро-изостерические соленоиды. То же относится к поверхностям изобарическим и изотермическим (точнее, к поверхностям равной виртуальной температуры). На синоптических картах показателем Б. является наличие градиента температуры на изобарической поверхности. Степень бароклинности измеряется удельным (на единицу площади) числом единичных изобаро-изостерических соленоидов, пересекающихся с горизонтальной или вертикальной поверхностью.]

**Циклогенез** – условия термобарического поля тропосферы, благоприятные для возникновения и развития циклонов. Так как, по определению, циклон является барическим образованием с пониженным атмосферным давлением, то возникновение циклонов следует ожидать в тех районах, где создаются условия для понижения давления. Основными правилами и признаками возникновения циклонов являются следующие.

Циклон возникает или углубляется под дельтой высотной фронтальной зоны при больших контрастах температур и больших скоростях ветра. Практически циклоны возникают только при наличии струйных течений справа от его оси. (Действительно, в дельте струйного течения наблюдается расходимость потоков воздуха, который справа теплее, а значит, легче. Таким образом, в этом районе наблюдается отток воздуха, этот воздух теплый, что и приводит к уменьшению давления и образованию циклонов.)

Для начальной стадии развития циклона, длящейся примерно сутки, характерен процесс от первых признаков возникновения – от деформации фронтальной поверхности (стадия волны), до появления первой замкнутой изобары на приземной карте погоды. Разность давления между центром и периферией составляет не более 5-10 гПа. На высотах вихри в начальной стадии не прослеживаются. Возникновение волны на фронте сопровождается деформацией термобарического поля тропосферы. Тёплый воздух получает тенденцию движения в сторону холодного и впереди волны в результате восходящего скольжения тёплого воздуха формируются мощные слоистые [облака Ns-As-Cs](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=11&id=118).

В молодом циклоне проходят два фронта: теплый в юго-восточной части и холодный в северо-западной. Оба фронта смыкаются в центре циклона, а между ними располагается область, занятая теплой воздушной массой (теплым воздухом), – так называемый теплый сектор циклона. Остальная часть циклона заполнена холодной воздушной массой (холодным воздухом).

на [спутниковых снимках](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=9&id=85) представляет собой В этой стадии развития, продолжительность которой также обычно не более суток, циклоны имеют уже не менее 2-х замкнутых изобар.

Термобарическое поле деформируется, циклон углубляется, превращается в мощный атмосферный вихрь со значительными скоростями ветра. Циклоническая циркуляция распространяется в верхние слои атмосферы.

В молодом циклоне можно выделить три зоны резко отличающиеся по условиям погоды.

Зона I – передняя и центральная части холодного сектора циклона перед тёплым фронтом. В этой зоне характер погоды определяется свойствами тёплого фронта. Чем ближе к центру циклона и к линии фронта, тем мощнее система облаков и тем вероятнее выпадение [обложных осадков](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=13&id=132).

Зона II – тыловая часть холодного сектора циклона за холодным фронтом. Здесь погода определяется свойствами холодной воздушной массы. При достаточной влажности и значительной неустойчивости в этой зоне выпадают [ливневые осадки](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=13&id=132).

Зона III – тёплый сектор между теплым и холодным фронтом. Зимой в теплом секторе молодого циклона отмечаются сплошные облака St, Sc, а иногда наблюдаются адвективные [туманы](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=17&id=188) и [морось](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=11&id=117). Летом в теплом секторе циклона в зависимости от от влажности воздушной массы может наблюдаться малооблачная погода, так и облачная погода, а иногда даже грозы. Днем отмечаются преимущественно [кучевые облака](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=9&id=91).

Третья стадия характеризуется наименьшим давлением в центре циклона. Продолжительность стадии не более 12-24 ч. В последней стадии циклон заполняется. У поверхности Земли в центре циклона давление повышается. Горизонтальные [градиенты давления](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=4&id=38) и скорости ветра постепенно уменьшаются. Данная стадия наиболее продолжительна – 4 суток и более.

В стадии развитого циклона (стадия максимального развития) облачная полоса обширный облачный вихрь с мощной облачной системой. Смыкание облачных спиралей холодного и тёплого фронтов приводит к образованию единой спирали [фронта окклюзии](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=13&id=130). Процесс смыкания начинается в центре циклона и постепенно сдвигается к периферии циклона.

Вторая половина жизни циклона характеризуется уменьшением его поступательной скорости, значительным преобразованием термобарического поля тропосферы – циклон становится высоким, термически симметричным (холодным) барическим образованием.

В случае окклюдированного циклона погода различается в зависимости от характеристик воздушных масс по обе стороны от фронта окклюзии. На фронте окклюзии имеет место сочетание облачных систем холодного и тёплого фронтов – образуется общая полоса осадков из слоистых облаков восходящего скольжения (As-Ns) и конвективных [кучево-дождевых облаков](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=9&id=92) (Cb), которые будут выпадать как перед линией фронта, так и позади него.

«Ныряющий» циклон — внетропический [циклон](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=21&id=222), характеризующийся особенной траекторией, как правило, с севера на юг и высокой скоростью перемещения.

Южный циклон — [циклон](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=21&id=222), характеризующийся особенной траекторией перемещения, приходящий на территорию Европы из более южных широт: из районов Средиземного моря, Балкан, Черного и Каспийского морей.

Южные циклоны имеет ярко выраженную температурную асимметрию; зимой с ним связаны снегопады и [метели](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=11&id=114), летом — обильные дожди, ливни, [грозы](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=4&id=40).

В Средней Европе южные циклоны иногда создают [наводнения](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=12&id=120).

Антициклон — область повышенного [атмосферного давления](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=1&id=5) с замкнутыми концентрическими [изобарами](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=8&id=72) на уровне моря и с соответствующим распределением [ветра](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=3&id=22).

В низком антициклоне — холодном, [изобары](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=8&id=72) остаются замкнутыми только в самых нижних слоях тропосферы (до 1.5 км), а в средней тропосфере повышенное давление вообще не обнаруживается; возможно также наличие над таким антициклоном высотного циклона.

Высокий антициклон — теплый и сохраняет замкнутые изобары с антициклонической циркуляцией даже и в верхней тропосфере. Иногда антициклон бывает многоцентровым. Воздух в антициклоне в северном полушарии движется, огибая центр по часовой стрелке (т.е. отклоняясь от [барического градиента](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=2&id=19) вправо), в южном полушарии — против часовой стрелки.

Для антициклона характерно преобладание ясной или малооблачной [погоды](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=14&id=144). Вследствие охлаждения воздуха от земной поверхности в холодное время года и ночью в антициклоне возможно образование приземных [инверсий](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=8&id=76) и низких [слоистых облаков (St)](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=11&id=118) и [туманов](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=17&id=188). Летом над сушей возможна умеренная дневная [конвекция](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=9&id=84) с образованием [кучевых облаков](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=9&id=91). Конвекция с образованием [кучевых облаков](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=9&id=91) наблюдается и в пассатах на обращенной к экватору периферии субтропических антициклонов. При стабилизации антициклона в низких широтах возникают мощные, высокие и теплые субтропические антициклоны.

Стабилизация антициклонов происходит также в средних и в полярных широтах. Высокие малоподвижные антициклоны, нарушающие общий [западный перенос](http://www.pogoda.by/glossary/?nd=7&id=61) средних широт, называются блокирующими.

**ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ:**

1. Бровкин В.В. Воздушные массы и атмосферные фронты. – Самара, 2006. // *meteocenter.net/meteolib/vm.htm*
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
3. Дашко Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. – Владивосток: ДВГУ, 2005.
4. Зверев, А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
5. Савичев А.И. Синоптические методы анализа атмосферных процессов: Учебное пособие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980.
6. Хандожко, Л.А. Экономическая метеорология: Учебник. – СПб., 2005.
7. *pogoda.by/glossary*