

Редактор Бровкин В.В.

Предисловие редактора

Тема атмосферных фронтов давно интересует автора сайта (см. работу [1], в которой обобщены некоторые наши наработки в этой сфере). Давно существовала и мысль написать нечто вроде небольшого пособия по атмосферным фронтам, рассчитанного на широкий круг лиц, интересующихся метеорологией. Катализатором и основой для настоящей публикации стали замечательные лекции Н.А. Дашко [3] по синоптической метеорологии; мы переработали разделы из этих лекций, посвящённые воздушным массам и атмосферным фронтам, удалив часть материала (наиболее сложные выкладки, интересные лишь специалистам) и дополнив их своими данными и своим видением предмета (основанным на личном 13-летнем опыте синоптика).

Воздушные массы и их географическая классификация

Наблюдения за погодой получили достаточно широкое распространение во второй половине 19 века. Они были необходимы для составления синоптических карт, показывающих распределение давления и температуры воздуха, ветра и осадков. В результате анализа этих наблюдений сложилось представление о воздушных массах. Это понятие позволило объединять отдельные элементы, выявлять различные условия погоды и давать её прогнозы.

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 $T_{\max}$ – поскольку в другое время суток, особенно ночью и утром, контрасты приземных температур более сглажены), очень успешно можно применять T_{850} (температура воздуха на уровне 850 гПа – около 1,5 км над уровнем моря). То, что именно T_{850} 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 :

- Арктический или антарктический воздух (АВ),
- Умеренный воздух (УВ),
- 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 нескольких дней сравнивать $T_{\text{макс}}$ (максимальную дневную приземную температуру воздуха) или T_{850} (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 ($T_{\text{макс}}$ 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 АТ-850 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 морозящие 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 окраинах 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 масштаба

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 удастся выявить верхнюю и нижнюю границы переходного слоя.

Как уже говорилось, фронтальные разделы очень хорошо обнаруживаются на картах АТ-850 - здесь ярче, чем в приземном слое, выражены контрасты температуры. Что касается вышележащих уровней, то здесь фронты прослеживаются недостаточно выражено. 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 обуславливается 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 [1]. На первый взгляд это противоречит тому факту, что в умеренных широтах существует

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 ([2, 4] 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 АТ-850. 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.

Соответствие основных фронтов изотермам Т850 [1]

Период года (день, месяц)	Т850		
	Таф	Туф	Тпф
15.12-20.02	-16	-8	0
21.02-15.03, 11.12-14.12	-15	-7	+1
16.03-24.03, 05.12-10.12	-14	-6	+2
25.03-05.04, 28.11-04.12	-13	-5	+3
06.04-10.04, 23.11-27.11	-12	-4	+4
11.04-13.04, 17.11-22.11	-11	-3	+5
14.04-17.04, 11.11-16.11	-10	-2	+6
18.04-20.04, 01.11-10.11	-9	-1	+7
21.04-27.04, 24.10-31.10	-8	0	+8
28.04-30.04, 20.10-23.10	-7	+1	+9

01.05-03.05, 11.10-19.10	-6	+2	+10
04.05-06.05, 05.10-10.10	-5	+3	+11
07.05-11.05, 27.09-04.10	-4	+4	+12
12.05-17.05, 22.09-26.09	-3	+5	+13
18.05-31.05, 16.09-21.09	-2	+6	+14
01.06-08.06, 01.09-15.09	-1	+7	+15
09.06-31.08	0	+8	+16

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°C на 100 км, на карте АТ-850 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 АТ-850, а в поле температуры на больших 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 выхолаженного 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 обуславливает 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 АТ-700 (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 ("феновый" 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 расхождение 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 растёт, 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 положение предыдущее положение фронтов по прошлым приземным и кольцевым картам). Правильнее сначала провести фронт на карте АТ-850, а уже затем отыскивать его на приземной карте. При этом нужно помнить, что фронты (кроме фронта окклюзии) на уровне АТ-850 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 АТ-850, может отличаться от приземного порой на несколько сотен километров; то есть фактическая карта АТ-850 даёт лишь приблизительную схему расположения фронтов, а уточнять их положение следует по приземной и кольцевой карте. Использование прогностических (модельных) карт АТ-850 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 T_{850} превышает 7° на 500 км (по нормали к фронту); активный циклогенез наблюдается в зонах двух параллельных основных фронтов с контрастом T_{850} более 15° на 1000 км. В случае сближения сразу трёх основных фронтов контраст T_{850} 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 высоко-слоистая 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 и 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 - высоко-слоистые - 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 - перисто-слоистые и перистые (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: высоко-слоистые 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. Высоко-слоистые (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-малышской мощи - 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 °C 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, образуемая 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, кото-рые 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 Сb 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 Сb 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 теплым. Далее происходит "обрушивание" вниз холодных воздушных масс в перед ней части продвигающегося холодного вала. Обрушивание холодного воздуха приводит к вытеснению вверх теплого воздуха и к возникновению вдоль фронта вихря с горизонтальной осью. Особенно интенсивными бывают шквалы на суше летом, при большой разности температур между теплым и холодным воздухом по обе стороны от фронта и при неустойчивости теплого 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 сходимости ветра. Может быть от 1 до 3 вторичных фронтов. Вторичные фронты имеют систему облаков, сходную с облачной системой облаков холодного фронта 2-го рода, но вертикальная протяженность 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 теплой подстилающей поверхностью (в тыловой части Сb 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 теплого фронта и со временем нагоняет его. На стадии заполнения циклона возникают комплексные фронты - фронты окклюзии, которые образуются при смыкании холодного и теплого атмосферных фронтов. В системе фронта окклюзии взаимодействуют три воздушные массы, из которых теплая уже не соприкасается с поверхностью Земли. Теплый воздух в виде воронки постепенно поднимается вверх, а его место занимает холодный воздух, поступающий с боков. Поверхность раздела, возникающую при смыкании холодного и теплого 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 теплого фронта и фронты окклюзии типа холодного фронта.

В средней полосе СНГ зимой преобладают теплые 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 теплого фронта, за фронтом окклюзии - область роста давления, связанная с поверхностью холодного фронта. Точка на синоптической карте, от которой расходятся остающиеся несомкнутыми участки теплого 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 окклюзировании 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 развиваться 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, которые 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 As, 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 прогреться 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, над льдами - охлаждается. Если такое положение сохраняется недолго, то различия в температуре воздуха над 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 расхождением 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 обуславливают 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 расхождимости течений приземного ветра осуществляется фронтолиз. Наибольшая расхождимость 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.

СИНОПТИЧЕСКИЙ ФРОНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ: время для переоценки?

*Клиффорд Масс
Департамент атмосферных наук,
Вашингтонский университет,
Сиэтл, штат Вашингтон, США*

Перевод - В.В.Бровкин

Примечание переводчика

По современным данным (включая численные модели анализа и прогноза, а также результаты наблюдений с искусственных спутников Земли), синоптические процессы являются гораздо более сложными, чем это представлено в классической норвежской модели циклона умеренных широт, которой до сих пор пользуются во всех внетропических странах планеты. Например, много сомнений вызывает фронт окклюзии (якобы возникающий из-за смыкания холодного и тёплого фронтов в циклоне): по новым данным, фронт окклюзии возникает в определённых случаях даже в довольно молодом циклоне, и никакого смыкания двух фронтов при этом не происходит. То же самое можно отнести и к фронту окклюзии в тёплом секторе.

По нашему мнению, то что принято называть фронтом окклюзии - не что иное, как создавшийся по тем или иным причинам в атмосфере гребень тепла, сопряжённый с языком влажного воздуха. И со смыканием каких-либо фронтов это не связано. По традиции это облачное образование (будь то в тёплом секторе или в центре циклона) можно называть фронтом окклюзии, но надо помнить о том, что на самом деле никакой окклюзии здесь не происходит. Очень хорошо подобные явления видны по модельным данным: как от срока к сроку в тёплом секторе циклона формируется гребень тепла, повышается влажность на высотах, появляются облака и осадки. Думаю, решающую роль здесь играет особое распределение крупномасштабных вертикальных движений в атмосфере.

Вообще, с развитием моделей и расширением их практического применения выявляется всё больше противоречий с фронтальной теорией. Так, нередко по модельным данным прогнозируется значительная по протяжённости (тысячи км) полоса влажного воздуха на высотах и связанная с ней зона осадков. Однако никаких температурных градиентов при этом нет, но по традиции метеорологи стараются обозначить эту полосу на картах как фронт (для лучшего восприятия). На самом деле никакого фронта нет, а есть только результат особого распределения вертикальных движений в атмосфере.

Другой частый пример: с приземной барической ложбиной (даже в отсутствие градиентов температуры и, соответственно, фронтов), часто связана ложбина холода на высотах и довольно обширная облачная полоса, нередко с осадками. И в этом случае метеорологи норовят обозначить её на картах как фронт (чаще всего холодный вторичный, или - ещё смешнее - фронт окклюзии, хотя гребня тепла нет и в помине!). На Западе эта проблема решена таким образом: в таких случаях на картах проводят чёрную линию, обозначающую ось ложбины (trough) при отсутствии фронтов, но наличии существенной облачной зоны. В России, к сожалению, подобные вопросы не изучаются и даже не обсуждаются.

Предлагаемая Вашему вниманию статья как и раз и посвящена вопросу разработки ясной и последовательной методологии анализа синоптических карт. Статья написана в 1991 году в США, однако она весьма актуальна для современной России и стран СНГ, поскольку

а) материально-техническое обеспечение нашей метеослужбы пока значительно отстаёт от американской;

б) массовое использование модельных прогнозов погоды у нас стало входить в практику лишь в начале 21 века.

Синоптический фронтальный анализ: время для переоценки?

До середины 20 века концептуальная модель структуры циклона бергенской школы доминировала в практике синоптической метеорологии, особенно относительно техники анализа приземных синоптических карт. Хотя парадигма охватывает некоторые из существенных функций эволюции циклонов, исследования и практическая работа до конца 1960-х годов показали существенные её пробелы, некоторые из которых обсуждены в этой статье. Бергенская модель применялась в регионах и условиях, весьма отличных от тех, в которых модель была исходно разработана. Знание этой проблемы многими исследовательскими и практическими сообществами имело некоторое воздействие на манеру анализа синоптических карт и стало предметом для многих учебников. Недостатки основной концептуальной модели развития циклона были обусловлены нехваткой последовательных и четких процедур для того, чтобы определить фронты и для того, чтобы анализировать приземные синоптические карты. Несколько примеров трудностей и противоречий приземного анализа представлены ниже в этой статье.

1. Введение

Почти 70 лет назад, бергенской школой метеорологии в серии статей (Бьеркнес 1919, Бьеркнес и Солберг 1922) предложена концептуальная модель структуры и эволюции среднеширотных циклонов синоптического масштаба. Эта концептуальная модель и соответствующая техника анализа были предназначены доминировать в синоптической метеорологии и оперативном прогнозировании до этого дня. В течение прошлой половины века синоптики, используя многообразие наблюдений, анализа и теоретических инструментов, быстро расширили знания о динамическом и структурном развитии

среднеширотных циклонов. Это новое знание показало: хотя норвежская модель охватывает много важных аспектов эволюции циклонов, требуется значительное уточнение этой модели.

К сожалению, всестороннее объединение в концептуальной модели понятий, полученных в прошлой половине века, не существует, и техника синоптического анализа развивается параллельно увеличению понимания структуры и динамики циклонов. Практикующие метеорологи и исследователи часто интерпретируют данные наблюдений с точки зрения бергенской школы, некорректно перенося "неклассическое" развитие процессов на почву бергенской школы и не замечая их очевидных несоответствий норвежской модели циклона.

Другая область беспокойства - часто непоследовательное нелогичное применение классических норвежских фронтальных символов (знакомые комбинации треугольников и полукругов) в оперативном и исследовательском синоптическом анализе. Эти фронтальные символы часто применяются в мезомасштабе и в синоптическом масштабе не касаясь норвежской модели циклона. Например, норвежские фронтальные символы используются не только для синоптических фронтов в глубокой бароклинности нижней тропосферы, но показываются и в мелком пограничном слое. Регулярный пользователь оперативных трёхчасовых карт приземного анализа Национального метеоцентра (NMC) обратит внимание на много примеров комплексов нефизичного фронтального анализа непрерывно во времени противоречащих положениям норвежского анализа. Раздел 5 представляет примеры таких проблем анализа.

Эта статья кратко рассматривает историю синоптического применения идей бергенской школы, обращает внимание на пробелы, которые стали очевидными в середине века в исследовательском и оперативном прогнозировании, описывает некоторые попытки исправить ситуацию, обеспечивает несколько примеров проблематичного и противоречивого применения техники анализа норвежской школы и дискуссию о некоторых потенциальных подходах к решению этих проблем. Автор в надежде этой статьёй вызвать к жизни конструктивные дебаты о технике анализа, используемой сообществом синоптиков. Это не предполагается как повод для критики оперативных аналитиков, которые работают в рамках серьёзных временных ограничений, часто с неадекватными данными, и со старой концептуальной моделью и техникой анализа.

2. Фронтальный анализ, основанный на норвежской модели циклона

Хотя многие компоненты бергенской модели циклона были известны до Первой мировой войны (см. прекрасный обзор Кутцбах 1979), бергенские метеорологи (В. и Дж. Бьеркнес, Х.Солберг) должны были установить всестороннюю концептуальную модель развития циклона, которая могла бы выдержать испытание в оперативном применении. Многие из необходимых идей, обобщённых Бьеркнесом и Солбергом (1922), всё ещё находятся в большинстве вводных учебников, используемых сегодня. Вероятно, наиболее важный вклад бергенской школы лежит в предложенном ими цикле жизни среднеширотного циклона. Они предположили, что циклоны развиваются из бесконечно малых волн, существовавших ранее на полярном фронте, который отмечает границу между тропической и полярной воздушными массами. Эта волна усиливается в волновом циклоне с холодом, полярный воздух стремится к югу за холодным участком фронта, а тёплый, тропический воздух подталкивается по направлению к полюсу с тёплым участком фронта. С этих пор холодный фронт движется более быстро, чем тёплый фронт, который отстывает, тёплый сектор прогрессивно сужается. Регион, в котором тёплый сектор воздуха поднят от поверхности сталкивающимися фронтами, как считают, окклюдированный. Если два фронта первый раз соприкасаются немного дальше к югу от центра циклона, происходит секклюдия - попадание тёплого воздуха в "ловушку". Бьеркнес и Солберг предложили два типа фронтов окклюдии (холодный и тёплый) в зависимости от соотношения температуры холодного воздуха с двух сторон тёплого сектора.

Хотя норвежская модель циклона была быстро принята в Европе, только в середине 1930-х годов Бюро погоды США применило эту концептуальную модель в процедуре оперативного дежурного анализа. Но, когда-то принятое, это правило господствовало со стойкой силой, даже когда появилось множество противоречащей ему информации. Ясно, что простая концептуальная модель чрезвычайно мало поддаётся изменению или замене, как только она получила широкое развитие; вызовы таким моделям игнорируются, даже в свете противоречащей моделям информации. В следующем разделе мы рассмотрим несколько проблем, ставших очевидными в последние 70 лет.

3. Необходимость в уточнении норвежской концептуальной модели

Исследования, проведенные в течение нескольких десятилетий, показали, что структура и эволюция среднеширотных циклонов часто существенно отличаются от идеальной картины, предложенной бергенской школой. Например, является теперь ясным, что их описание роста циклона от исходно существующего бесконечно малого возмущения на полярном фронте, вообще говоря, некорректно. Довольно многие, путём наблюдений, теории (Эди 1949, Черни 1947) и численного моделирования (Филипс 1956, Хоскинс и Вест 1979, Шар 1989) показали, что циклон требует для развития только наличия зоны бароклинности, и процесс эволюции циклона может обостряться в зоне больших температурных градиентов внутри интенсивных фронтальных зон. Таким образом, вообще циклогенез и фронтогенез должны быть рассмотрены как неразрывный процесс. Может быть обсуждено то, что неявное разделение этих процессов в норвежской модели циклона было сделано в ущерб дисциплине, так как отвлекает внимание метеорологов, проводящих фронты, от того факта, что эти фронты - результат полей движения, связанных с бароклинными возмущениями. Слишком большой акцент сделан на фронтах и связанной с ними погоде. Другой очевидным пробелом классической модели является один из её главных компонентов - тёплый фронт - часто слабо выраженный и ограниченный в горизонтальном распространении, особенно в зрелых и распадающихся системах (Уоллис и Хоббс 1977, Хоскинс и Вест 1979). Кроме этого, зачастую невозможно идентифицировать тёплый фронт на космических снимках (Андерсон 1974).

Норвежская модель циклона часто кажется нереалистичной относительно эволюции окклюдированных фронтов. Большинство учебников и статей подчинено повторению базовой парадигмы Бьеркнеса и Солберга, а именно - что фронты окклюзии формируются, когда холодные фронты достигают тёплых фронтов в процессе развития циклона, и фронт окклюзии образуется в двух вариантах, тёплый или холодный, в зависимости от соотношения температур воздуха в восточной и западной сторонах системы. Однако, несколько исследователей отметили, что формирование фронта окклюзии от столкновения холодного и тёплого фронтов вообще не документировано и эти фронты окклюзии могут формироваться другими путями. Например, Уоллис и Хоббс (1977) предложили считать фронты окклюзии по существу новыми фронтами, вырастающими к северу от перехода тёплого фронта в холодный. Пеннер (1955), что "законченные случаи фронтов окклюзии как классической модели являются чрезвычайно редкими в Северной Америке и смежных регионах... фронты окклюзии могут быть действительно проверены по аэрологическим данным как редкий метеорологический феномен". Пэлмен (1951) заметил, что проанализированные циклоны более редко являются окклюдированными на приземных картах и реальные процессы окклюзии никогда не идут в ложбинах. Классическая норвежская эволюция циклона не включала процесс, который известен сегодня как "мгновенная окклюзия", посредством чего облачная запятая присоединяется к открытым волнам, производя очевидно зрелую окклюдированную систему в течение короткого промежутка времени.

Не только классический процесс окклюзии является недостатком документа, но, в дополнение, разнообразные исследования показали, что идеальные окклюдированные фронтальные структуры редко соблюдаются в их полноте. Часто или один из компонентов фронта окклюзии [бергенской школы] отсутствует, или, в других случаях, наблюдаются "неклассические" фронтальные структуры и мезомасштабные особенности. Например, Кляйтцберг (1968) заметил, что старые и новые окклюзии являются различными структурами, молодые окклюзии состоят из нижнетропосферного фронта и связанной вторичной волны сверху. В серии наблюдений и исследований (см. Хоузе 1976, Хоббс 1978) на побережье Вашингтона были найдены различные неклассические структуры, связанные с окклюзиями.

В течении нескольких прошлых десятилетий, несколько исследователей (Рид 1979) заметили существование циклогенеза на холодной стороне главной фронтальной зоны; этот феномен не включен в норвежскую модель циклогенеза. Эти возмущения начинаются с относительно маленькой (500-1000 км) запятаяобразной области увеличенной конвекции и иногда незаметно вырастают в обычный циклон синоптического масштаба. Это часто наблюдается как облачная запятая сверху связанной с ней короткой волны; при её подходе к ранее существовавшей бароклинной зоне начинается циклогенез. Такой процесс, в примере Петтерсена циклогенез типа В (Петтерсен и Смибай 1971), никогда не упоминался в оригинальной норвежской модели циклона.

Норвежская модель недостаточно полно описывает нижнетропосферные структуры как взаимодействие между возмущениями, развивающимися на верхних и нижних уровнях. Верхнеуровневые фронты и отношения между короткими волнами верхних уровней и индивидуальными циклонами никогда не были частью классической парадигмы, поскольку в течение первой трети 20-го столетия было доступно лишь малое количество данных зондирования. Для справедливости нужно отметить, что, поскольку данные зондирования стали более обильными в 1930-ых и 1940-ых годах, некоторые из исследователей Бергена признали важность вертикальной структуры в циклогенезе (Bjerknes 1937; Bjerknes и Palmen 1937; Bjerknes и Holmboe 1944). Даже сегодня, во время, когда основная структура верхних фронтов является известной (см. Keyser и Shapiro 1986, для превосходного обзора), ясного понимания развития фронтов верхних уровней в контексте развития циклона не существует.

4. Попытки создания улучшенных концептуальных моделей и методов анализа

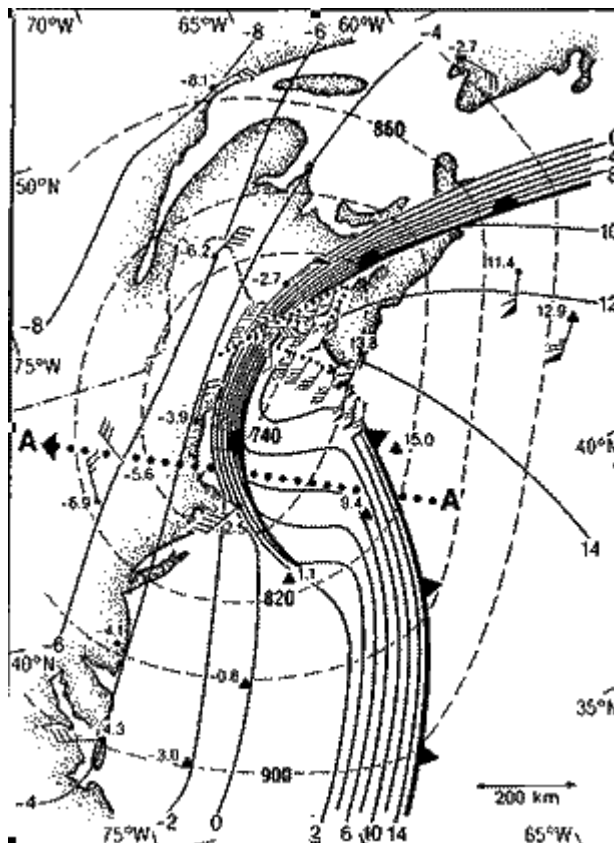
В течение прошлых 70 лет, метеорологи следовали двумя главными путями в попытках улучшить модель школы Бергена. Один подход пытался изменять и улучшать модель, сохраняя ее существенный фронтальный "вкус", в котором большинство изменений погоды связано с вертикальными движениями, вызванным фронтальными поверхностями. Другой подход (например, квази- и семигеострофический диагноз, изэнтропический вихрь, струйные течения) был в основном динамическим в перспективе. Хотя внушительные достижения были сделаны в обоих из этих подходов, необходимо отметить, что сегодня все еще нет никакой всесторонней картины трехмерной структуры и развития циклонов умеренных широт, которая объединила бы все представления прошлых 70 лет. С большим количеством новых несвязанных идей относительно фронтальной структуры и её развития, старая надежная норвежская модель циклона осталась в господстве. В этом разделе мы кратко рассмотрим некоторые из полученных данных вышеупомянутых двух подходов, поскольку они относятся к попытке создания всесторонней концептуальной модели развития циклона умеренных широт.

а. Фронтальный подход

Eliassen и Kleinschmidt (1957), Браунинг и Harrold (1969), Carlson (1980), и Браунинг (1985), среди других, попытались определить трехмерный поток воздуха через циклоны, используя относительный поток в изэнтропических исследованиях. В их исследованиях предположено, что поток воздуха может осмыслиться как ряд "несущих полос". Теплая несущая полоса начинается на низких уровнях в теплом секторе перед холодным фронтом и поднимается на антициклональной стороне выше теплого фронта, в то время как холодная несущая полоса спускается, двигаясь на запад, к северу от теплого фронта. Хотя, возможно, это полезный концептуальный инструмент, данный подход страдает от нескольких недостатков. Например, он предполагает систему движений без изменения скорости и формы, или упрощенных эквивалентов, и траекторий, идентичных в относительных координатах; это предположение не вполне верно в течение периода быстрого развития циклонических систем. Влажноадиабатическое движение предполагается. Кроме того, не ясно, адекватно ли описывают области движения на нескольких изэнтропических уровнях (обычно три) сложные трехмерные движения через синоптические системы. В течение прошлых нескольких десятилетий, дальнейшее осложнение относительно структуры и развития фронтов следовало из нескольких моделей (анафронт, катафронт, разделенный холодный фронт), каждая из которых, кажется, применима в различных регионах и в разные периоды в цикле жизни циклонических систем. Первый анализ различий между анафронтом (спускающийся холод и поднимающийся теплый воздушные потоки) и катафронтом (опускание с обеих сторон фронта, с более сильным опусканием на "теплой" стороне) был сделан Bergeron (1937). Он предположил, что анафронты более распространены в молодых циклонах, а катафронты более вероятны в старых заполняющихся системах. Мили (1962) и Браунинг (1982) предложили комплексную фронтальную структуру, обычно известную как модель разделенного холодного фронта. В этой модели граница между холодным воздухом и теплым воздухом в теплом секторе обозначается как верхний холодный фронт, с дополнительным холодным фронтом, отстающим на низких уровнях.

Несколько канадских метеорологов (например, Penner 1955; 1960 Galloway), предложили альтернативное соглашение для того, чтобы анализировать окклюзии. В их методе анализа основание верхнего клина теплого воздуха спроектировано на поверхности и проанализировано как "trowal" (киль). Они предположили, что trowal часто более существенен метеорологически, чем слабый фронт окклюзии, находящийся у поверхности. Недавно Hobbs и др. (1990) предложили концептуальную модель верхних холодных фронтов, включая теплую окклюзию и разделенный холодный фронт. В этой модели холодная фронтальная поверхность в средней тропосфере сопровождается резким снижением потенциальной температуры, поверхностная ложбина отстает от особенностей верхнего уровня, и зона высоких потенциальных температур соединяет эти два компонента.

Недавние наблюдательные исследования циклогенеза по западной Атлантике (например, Neiman и др. 1990; Shapiro и 1990 Keyser), используя самолеты, радиозонды и другие новые технологии наблюдения, предложили структуру и развитие, существенно отличное от классической норвежской концептуальной модели. Например, рис. 1 представляет температуру на 920 МБ, геопотенциальную высоту, и фронтальный анализ циклона по восточной Атлантике приблизительно в 1200 UTC 27 января 1988 (Shapiro и 1990 Keyser). Этот анализ использует и обычные наблюдения, и данные радиозондов, и самолетные данные. Заметьте, как холодный фронт проектируется к северу под почти прямым углом к тепловому фронту; эту фронтальную геометрию назвали "Т-образной". Важное отклонение от классической структуры - отсутствие фронта окклюзии; скорее теплый фронт простирается к центру низкого давления, мало чем отличаясь от "ретроградной" окклюзии (Bergeron 1937; Petterssen 1956). Холодный фронт, кажется, смещается перпендикулярно к тепловому фронту, но никогда не догоняет теплый фронт как в модели Школы Бергена.



Общераспространённость такого поведения холодного фронта, впрочем, сомнительна. Такие структуры были зарегистрированы только над океаном; над сушей, вообще говоря, холодные фронты не "ломаются". Фронты окклюзии были наблюдаемы над сушей. Кроме того, сильная бароклинность низкого уровня, которая простирается от центра низкого давления (теплый фронт в рис. 1) обычно не очевидна над сушей. Могло вполне быть, что меньшее поверхностное трение и большие тепловые потоки над водой имеют главное влияние на структурное развитие циклонов, по крайней мере в нижней тропосфере. Таким образом, структуры, найденные по западной Атлантике (наподобие указанных в рис. 1), возможно, присущи определенной географической области с уникальными элементами, типа интенсивной адвекции холодного континентального воздуха по теплой воде Гольфстрима.

Должно быть отмечено, что семигеострофические модели, используя идеализацию основных состояний, и реалистические примитивные модельные уравнения, повторили некоторые из неклассических структур развития, описанных выше. Например, Куо и др. (1990) моделировал взрывное развитие шторма QE11 по западной Атлантике, используя NCAR/Penn. с помощью MM4 (мезомасштабная примитивная модель уравнений). Температуры уровня моря и давления для этого моделирования предлагают "обратный" теплый фронт и Т-конфигурацию, отмеченную выше. Нелинейное, семигеострофическое моделирование (адиабатический, без трения) Schar (1989), начинающийся с высоко идеализованного начального состояния, произвело подобное структурное развитие.

б. Динамический подход

Альтернативная перспектива, которая развилась в течение прошлых 40 лет, исследует динамические отношения между полями, поскольку синоптические системы развиваются, и менее заинтересованы определением и движением определенных структурных (например, фронтальных) элементов. При этом подходе, фронтальное развитие и получающиеся вертикальные движения замечены как только один компонент развития бароклинных систем. Доминирующий динамический метод в течение прошлых 40 лет был квазигеострофическим анализом, который связывает поля вертикального движения, вихря, температуры, ветра физически последовательным способом (см. 1979 Holton). Например, используя квази-геострофический подход, восходящее движение определяется количественными, типа горизонтальной адвекции вихря, а не геометрическими характеристиками потока, связанных с фронтальной зоной. Позже более точная семигеострофическая теория была применена, чтобы понять структуру и развитие фронтов (например, Hoskins и 1972 Bretherton) и развитие циклонических систем (например, Hoskins и West 1979).

Другой динамический подход использует вертикальную циркуляцию в ограниченных областях сильных ветров, то есть струйных течений (см. Uccellini и др. 1987, для примера). Эта перспектива, интуитивно удовлетворительная, ограничена ситуациями с относительно простыми конфигурациями и чрезвычайно идентична квазигеострофическому подходу для неискривлённого потока. Другая диагностическая техника использует изэнтропический потенциальный вихрь (см. Hoskins и др. 1985 для всестороннего обзора). Отмечая развитие и взаимодействие центров потенциального вихря в верхней и нижней тропосфере, получено представление о развитии циклонических систем. Хотя эти динамические подходы могут обеспечить "объяснение" структуры бароклинных возмущений и сопутствующих существенных погодных особенностей (например, области большого восходящего движения и сильных осадков), они могут быть неясными для непрофессионала, и их применение ограничено масштабами, для которых они являются динамически уместными и для которых доступны соответствующие наборы данных. Все вышеупомянутые динамические подходы ограничены решением проанализированных полей, которых они требуют. Это ограничение не столь серьезно для фронтального подхода, так как важные особенности (например, узкий холодный фронт) могут порой отмечаться субъективно (например, исследуя ряд времени на единственной станции или спутниковом изображении) даже при том, что проанализированные поля на горизонтальной поверхности не могут должным образом представить их.

В итоге, синоптики сталкиваются с запутывающим множеством различных и часто противоречащих концептуальных моделей и подходов относительно структуры и развития циклонических систем и им сопутствующих фронтов. Некоторые аспекты, которые имеют предложенные структурные модели, просто неправильны, или они представляют структуры циклона, применимые только в определенных географических областях или специфических стадиях в развитии циклона? Отбросить понятие "фронты" полностью и рассматривать только динамические отношения между основными полями? Конечно, есть потребность в обновленном, всестороннем объединении концептуальной модели развития циклонов по всему циклу жизни, или по крайней мере информации о том, как развитие изменяется с изменением географических условий и параметров среды.

5. Недостатки текущих приземных методов анализа

Экспертиза оперативных или ретроспективных приземных исследований показывает множество тревожащих недостатков. Проблемы начинаются с анализа и интерпретации атмосферного развития, используя концептуальную модель (норвежская модель циклона), которая (очевидно) должным образом не представляет (несколькими способами) развитие циклонов умеренных широт. Примечательно, что по океанам, где обычные данные редки, циклоны почти всегда анализируются в терминах классических норвежских структур, в то время как над сушей, где наблюдательные данные относительно обильны, аналитики часто вынуждены проводить на картах сложные и неклассические структуры (хотя они, кажется, борются с этой тенденцией, насколько возможно). Действительно ли разумно, что метеорологи применяют норвежскую модель циклона, созданную для относительно маленькой области на восточном побережье океана, для всего земного шара, по которому топография и приземные условия изменяются очень сильно?

Проблемы с текущими методами анализа не ограничены неправильно используемой или несовершенной концептуальной моделью. Временная непрерывность часто недостаточна в приземных исследованиях, поскольку фронты перемещаются назад и вперед и преобразовываются из одного типа в другой по неочевидным причинам. Возможно непоследовательное использование знакомой палитры символов, установленных для типизации фронтов метеорологическим патриархом Бергеном. Экспертиза большого количества оперативных приземных исследований NMC показывает, что знакомые фронтальные символы используются разнообразными способами:

1. Для связанных с циклоном фронтальных зон, простирающихся через значительную часть нижней тропосферы (что в общем совместимо с норвежской моделью циклона).
2. Для относительно мелких топографически-обусловленных особенностей, типа границы холодного воздуха, прибрежных фронтов, ложбин холода созданных высокими горными хребтами (типа Скалистых гор).
3. Для небольших зон температурного контраста, вызванного различиями в приземных свойствах или облачности. Например, часто большие температурные контрасты у границы сплошного снежного покрова иногда обозначаются норвежским фронтальным символом (обычно как малоподвижный фронт).

Хотя проблемы в NMC не уникальны, они могут быть сопоставлены при помощи автоматизированных исследований давления уровня моря для трехчасовых североамериканских карт погоды (Bosart 1989). Эти исследования часто дают серьезные ошибки по океану; и даже над сушей, проанализированные компьютером особенности не захватывают структуры, которые были бы очевидными для человека-аналитика. В результате вручную проанализированные фронтальные положения часто непоследовательны с особенностями машинных исследований давления на уровне моря.

6. Некоторые подходы к проблеме

Хотя автор не утверждает, что был бы в состоянии решить проблемы, описанные выше, следующие шаги могли бы быть логичным способом движения вперед:

а. Определить детальное структурное развитие циклонов умеренных широт. Установить пересмотренную и более общую концептуальную модель развития циклона. Это понятно, если помнить, что спустя 70 лет после оригинальной работы Школы Бергена, мы все еще не имеем всестороннего понимания детальных воздушных движений и развития циклонов умеренных широт. Мы не знаем, как это развитие изменяется для различных областей и крупномасштабных условий. Мы ясно не документировали развитие фронтов окклюзии, или даже лишь условно договариваемся об их существовании. Как отмечено выше, одной причиной этой неудачной ситуации было большое и запутывающее множество несвязанных идей относительно структуры циклона и его развития; в результате была чрезмерная зависимость от стареющей парадигмы Школы Бергена и ее почти неизменного отражения в учебниках. Также можно убедительно утверждать, что ограничения в метеорологических наблюдениях (то есть, грубая сеть станций радиозондирования два раза в день) также ограничили продвижение этого вопроса.

Замена или поправка научных парадигм должны зачастую ожидать момента, когда новые данные сокрушат старые концептуальные модели. Такова ситуация сегодня с норвежской моделью циклона. Численные модели теперь способны к моделированию циклонического развития с большой детализацией и предлагают мощный инструмент, чтобы диагностировать детальное развитие структур циклона (см. Keyser и 1987 Uccellini). Новые платформы наблюдения (например, NEXRAD) предполагают непрерывный контроль развития циклона в достаточных временных и пространственных деталях, чтобы описать соответственно развитие и структуру среднеширотных циклонических систем. Региональные полевые эксперименты используют многие из новых технологий, чтобы обеспечить очень подробные описания циклона и фронтального развития. Короче говоря, новые наблюдательные наборы данных и точные числовые образцовые моделирования должны использоваться, чтобы установить реалистические концептуальные модели развития циклона и определить, как развитие циклона изменяется при изменении условий среды (например, топографии, приземных условий, крупномасштабной циркуляции и т.д.).

б. Установить логическую и последовательную систему для того, чтобы анализировать синоптические карты. Как только всестороннее понимание развития циклона умеренных широт будет достигнуто, и изменения концептуальных моделей установлены, потребуются новые логические и последовательные методы для того, чтобы анализировать и представлять синоптические карты. Так как приземная синоптическая карта традиционно была средством для того, чтобы показать концептуальную образцовую символику, позвольте нам рассмотреть некоторые возможные подходы для того, чтобы анализировать и показывать эти карты.

Подход 1) Представление проанализированных полей без фронтальных или других символов.

Некоторые люди могли бы утверждать, что реальный мир намного более сложен, чем любая простая концептуальная модель, и поэтому это - некоторый обман: попытки увидеть упрощенную модель в данных наблюдений. Такие люди рекомендовали бы, чтобы наблюдения - проанализированные поля (например, изотермы, изобары, изэнтропы), и возможно некоторые полученные динамические величины (например, потенциальный вихрь) - говорили сами за себя. Они отметили бы, что метеорологи, кажется, довольны численной прогностической продукцией, которая испытывает недостаток в какой-нибудь фронтальной символике, итак, почему бы не применить то же самое для наблюдаемых (фактических) данных? Простые концептуальные модели, возможно, были полезны как инструменты чтобы получить сведения о состоянии средней и верхней тропосферы, когда фактические данные верхних уровней недостаточны, но сегодня трехмерная информация доступна с большей детальностью, чем недавно. Другое преимущество отказа от фронтальных символов состоит в том, что фронты зачастую не имеют четких особенностей. Бароклинность в атмосфере изменяется в широком диапазоне; в каком случае должно использоваться понятие "фронт"?

Хотя это положение (никаких проанализированных фронтов) могло бы быть по своей основе очень простым, есть аргументы против этого. Даже с его очевидными недостатками, классический норвежский циклон моделирует и методы анализа, которые происходят от этого, действительно выражая в обобщенном виде некоторые существенные истины: многие циклоны развиваются именно подобным способом, то есть, как волна в области существенного температурного градиента. Это заключение очевидно из обычных наблюдательных данных, спутниковых снимков, и численной прогностической продукции. Концептуальные модели могут помочь организовывать громадный объем наблюдений в последовательную картину и помогать визуализации и интерпретации сложных трехмерных движений; они - особенно важны в областях ограниченных обычных данных (например, океанов, где только

спутниковые данные и несколько сообщений с судов и самолетов могут быть доступны). Фронтальные символы обеспечивают информацию о временных изменениях (например, движение холодных и теплых масс воздуха), которые требовали бы больше чем одной диаграммы, если бы были показаны только поля метеовеличин. Другая проблема с отказом от использования фронтальных символов состоит в том, что автоматизированные проанализированные поля, возможно, не в состоянии показать или правильно разместить все интересные особенности, типа мезомасштабного фронта, который является слишком узким, чтобы быть захваченным разрешением синоптической сети. Такой фронт мог бы быть ясно отображён использованием других подходов, типа анализа временного ряда наблюдений на единственной станции или спутниковых снимков. Наконец, нужно рассмотреть последствия устранения всей фронтальной символики в материалах, показываемых широкой публике и СМИ. Фронты привычно показываются прогнозистами по телевидению, в газетных погодных картах и просты, но полезны, как инструменты для того, чтобы сообщить погодную информацию широкой аудитории. Публика приняла бы карты с только изотермами или другими полями величин? Или такого рода символика должна была бы быть сохранена для метеорологов?

Подход 2) Изменение текущих методов анализа, чтобы соответствовать улучшенной парадигме.

Другая противоположность сохраняет общий подход к фронтальному анализу, используемому сегодня (то есть, модель наноски станции, изобары, фронтальные (и другие) символы на приземной карте), но очень улучшают ясность и последовательность используемой символики. Следующие модификации и разъяснение текущих методов предлагают путь к сокращению беспорядка, очевидного в современных исследованиях:

- 1) Применение классических норвежских фронтальных символов должно быть ограничено фронтами, которые простираются на значительную высоту в тропосфере. Применение классических фронтальных символов к приземным синоптическим фронтам, небольшим радиационно-обусловленным областям большого температурного градиента, и линиям сходимости ветра, как в настоящее время делается, является главным примером непоследовательного и запутывающего использования.
- 2) Фронтальные символы должны использоваться только для тех метеовеличин, градиенты которых существенно выражены в горизонтальном поле плотности (в действительности, это только температура). Фронтальные символы не должны использоваться для областей контраста одной только влажности.
- 3) Измененная форма этих символов (или новые символы) могла бы использоваться для небольших особенностей, типа связанных с линиями шквалов, морскими бризами, топографическими "фронтами" и процессами пограничного слоя. Young и Fritsch (1989) предложили такой набор символов для мезомасштабного анализа.
- 4) Исследования должны быть последовательными во времени, то есть, временная непрерывность должна быть обеспечена.

В вышеупомянутом подходе есть много возможных творческих изменений. Например, вместо классических фронтальных символов (со всем их значительным багажом) мог бы быть создан целый диапазон символов для различных типов переходов (например, линий изменения ветра, ложбин давления, линии изменений в градиентах) у земли или на высотах. Независимо от того, сколько будет установлено символов, их последовательное и логическое использование будет ключом к успеху.

Подход 3) Представляет поля величин и использует фронтальные (или другие) символы только для особенностей, которые не могут быть представлены в полях.

Одна из самых серьезных проблем, вызванных первым подходом (предлагающим отсутствие символов) - то, что автоматизированные проанализированные поля неизбежно пропустят или ненадлежащим образом представят некоторые небольшие особенности полей, которые являются весьма очевидными для человека-аналитика. Кроме того, даже ручные исследования не могли бы в состоянии ясно представить некоторые мелкомасштабные особенности. Компромиссный подход обратился бы к этой проблеме при использовании фронтальных (или других) символов, чтобы указать особенности, которые ненадлежащим образом отражены проанализированными полями. Возможная проблема этого подхода - то, что границы (или символы) могли бы показывать интенсивность и горизонтальный масштаб явлений. Синоптические карты, вообще говоря, имеют низкое качество, это одноцветные изображения, которые лишь незначительно улучшились за прошлые 30 лет. Метеорологи должны постигать трехмерное развитие очень сложных систем; очевидно, что двумерные показы с одним цветом (бумажные или электронные) не в состоянии представить достаточно информации даже сегодня и конечно будут неадекватны в наступающую эру увеличенных объемов наблюдательных данных. Обычные способы представления не позволяют применять исключительную способность людей понимать суть сложных структур, когда эти структуры представлены в форме трехмерных изображений.

К счастью, технологии, которые обещают производить увеличение объёмов информации, в тоже время содержат потенциал чтобы решить проблемы управления данными, их анализа и отображения. Добавляя различные цвета, метеорологи могли удобно добавить несколько полей (например, изотермы).

Главный вопрос, к которому мы пока не обращались - должны ли такие особенности, как средние или верхние тропосферные фронты, быть отмечены на синоптических картах. Кроме того, часто наблюдается, что важные синоптические особенности (например, тёплый фронт) могут быть замаскированы у поверхности тонкой пленкой холодного воздуха на низких уровнях. Должны ли важные особенности верхних уровней, которые не ясно очевидны в приземных полях (например, температура) быть отмеченными некоторым образом на картах? Пример этого подхода - канадская модель trowal (Penner 1955), в которой основа верхнего холодного фронта, связанного с окклюзией, обозначается на приземной карте.

Независимо от того, какой подход будет взят за основу, трудно недооценить препятствия в попытках изменить норвежскую методологию анализа. Она доминировала так долго из-за её простоты и легкого объяснения; любая новая методология или установленный набор символов должны допускать легкое изучение и использование.

Нереализованный потенциал компьютерных технологий для анализа и показа метеорологических данных - главная причина, что всесторонняя концептуальная модель развития циклона не прогрессировала в своих методах и понятиях - из-за общей неспособности визуализировать трехмерное развитие синоптических систем. Интеграция большого количества горизонтальных карт, разрезов, и данных радиозондирования в умственную картину трехмерного структурного развития циклона - вызов, с которым немногие могут справиться. В отношении этой проблемы, очевидно, что метеорологи не полностью применяют потенциал современных технологий коммуникаций к синоптическим картам. Трехмерная графика могла бы позволить рассмотрение синоптической структуры в разнообразии перспектив, и обеспечить степень понимания, которая никогда не могла бы достигаться, используя обычные способы показа (см. Wilhelmson и др. 1989; Schiavone и 1990 Papathomas). Многие из инструментов программного обеспечения и аппаратных средств, которые позволяют решить проблему визуализации, существуют сегодня; к сожалению, распространение таких инструментов в пределах исследовательского и оперативных сообществ происходит медленно и нескоординированно.

7. Резюме и заключение

Более полувека бергенская концептуальная модель структуры и развития циклона доминировала в практике синоптической метеорологии, особенно в том, как анализировались приземные синоптические карты. Хотя норвежская парадигма захватывает несколько существенных особенностей развития циклона, исследование и оперативный опыт за прошлые 70 лет показали её существенные недостатки. Например, теперь ясно, что развитие циклона не требует существования обширных полярных фронтов; скорее необходима только зона бароклинности для развития циклона, непосредственно обостряющего разреженные температурные градиенты и превращающего их в интенсивные фронтальные зоны. Тёплые фронты, главный компонент норвежской модели циклона, являются часто слабыми или ограниченными в развитии. Классическое норвежское развитие циклона также не включает процесс "мгновенной окклюзии", посредством чего облачная система в виде запятой соединяется с открытыми волнами и производит очевидно зрелые закрытые системы в течение короткого промежутка времени. Наконец, разнообразные наблюдательные исследования показали, что идеальные структуры фронта окклюзии редко наблюдаются в их полноте. Хотя эти и другие недостатки известны многим в исследовательских и оперативных сообществах, это знание не имело большого воздействия на манеру, в которой анализируются синоптические карты, а тем более на способ, которым предмет описан в учебниках.

Проблемы с основной концептуальной моделью развития циклона были вызваны нехваткой последовательных и четких процедур для анализа приземных синоптических карт. Например, к классическим фронтальным символам часто обращаются для анализа мезомасштабных особенностей, не охваченных в оригинальной норвежской модели циклона. Фронтальные символы в стиле Бергена не только используются для фронтов с бароклинностью, простирающейся через существенную часть тропосферы, но также и для приземных фронтов, например, вызванных границами облачных и снежных полей.

Чтобы решать вышеупомянутые проблемы, метеорологическое сообщество должно следовать двухаспектным подходом. Сначала, исследование и оперативные понимания, полученные в последней половине 20-го столетия должны быть объединены с более свежим численным моделированием и наблюдательными исследованиями (использование новых технологий, типа доплеровского радара, радиозондов, самолетов, и т.д.), чтобы установить исправленную, и более общую, концептуальную модель развития циклона. Важными будут инструменты анализа и отображения метеоинформации,

которые обеспечат трехмерное представление развития циклона. Может вполне оказаться, что развитие циклона является очень различным, в зависимости от приземных условий, топографии и других факторов. Во-вторых, должна быть разработана ясная и последовательная методология анализа синоптических карт.

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.

Самара, 2006 г.

АТМОСФЕРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ - КЛАССИФИКАЦИЯ И ОПИСАНИЕ

В.В.Бровкин

Атмосферные явления представляют собой важный элемент погоды: от того, идёт ли дождь или снег, отмечается ли туман или пыльная буря, бушует ли метель или гроза, в значительной степени зависит как восприятие текущего состояния атмосферы живыми существами (человек, животные, растения), так и воздействие погоды на находящиеся под открытым небом машины и механизмы, постройки, дороги и т.д. Поэтому наблюдения за **АТМОСФЕРНЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ** (их правильное определение, фиксация времени начала и прекращения, колебаний интенсивности) на сети метеостанций имеют большое значение. Впрочем, такие наблюдения доступны не только профессионалам, но и широкому кругу любителей природы; для этого нужно изучить описания явлений и понимать, с чем (условия ОБЛАЧНОСТИ, ВЕТЕР, диапазон ТЕМПЕРАТУРЫ и т.п.) связано то или иное **ЯВЛЕНИЕ ПОГОДЫ**.

Примечание: описания явлений даны в основном так, как они используются при кодировании метеосводок (кодовые формы METAR, SYNOP и другие), передаваемых по каналам связи (в том числе, публикуемых в интернете вообще и на нашем сайте в частности). Для ряда явлений существуют отличия их названий и обозначений при фиксации результатов наблюдений в документации (книжках и журналах наблюдений), ведущейся на метеостанциях.

В таких случаях в конце описания явления добавляется дополнительное пояснение с пометкой ЖУРНАЛ. Для тех явлений, которые фиксируются только в станционной документации и не передаются в сводках, описание начинается непосредственно со слова ЖУРНАЛ.

Осадки, выпадающие на земную поверхность

Обложные осадки

Характеризуются монотонностью выпадения без значительных колебаний интенсивности. Начинаются и прекращаются постепенно. Длительность непрерывного выпадения составляет обычно несколько часов (а иногда 1-2 суток), но в отдельных случаях слабые осадки могут длиться полчаса-час. Выпадают обычно из слоисто-дождевых или высоко-слоистых облаков; при этом в большинстве случаев облачность сплошная (10 баллов) и лишь изредка значительная (7-9 баллов, - обычно в начале или конце периода выпадения осадков). Иногда слабые кратковременные (полчаса-час) обложные осадки отмечаются из слоистых, слоисто-кучевых, высоко-кучевых облаков, при этом количество облаков составляет 7-10 баллов. В морозную погоду (температура воздуха ниже -10...-15°) слабый снег может выпадать из малооблачного неба.

Дождь

Жидкие осадки в виде капель диаметром от 0.5 до 5 мм. Отдельные капли дождя оставляют на поверхности воды след в виде расходящегося круга, а на поверхности сухих предметов - в виде мокрого пятна.

Переохлаждённый дождь

Жидкие осадки в виде капель диаметром от 0.5 до 5 мм, выпадающие при отрицательной температуре воздуха (чаще всего 0...-10°, иногда до -15°) - падая на предметы, капли смерзаются и образуется гололёд.

ЖУРНАЛ: отмечается дождь.

Ледяной дождь

Твёрдые осадки, выпадающие при отрицательной температуре воздуха (чаще всего 0...-10°, иногда до -

15°) в виде твёрдых прозрачных шариков льда диаметром 1-3 мм. Внутри шариков находится незамёрзшая вода - падая на предметы, шарики разбиваются на скорлупки, вода вытекает и образуется гололёд.

Снег

Твердые осадки, выпадающие (чаще всего при отрицательной температуре воздуха) в виде снежных кристаллов (снежинок) или хлопьев. При слабом снеге горизонтальная видимость (если нет других явлений - дымки, тумана и т.п.) составляет 4-10 км, при умеренном 1-3 км, при сильном снеге - менее 1000 м (при этом усиление снегопада происходит постепенно, так что значения видимости 1-2 км и менее наблюдаются не ранее чем через час после начала снегопада). В морозную погоду (температура воздуха ниже -10...-15°) слабый снег может выпадать из малооблачного неба.

ЖУРНАЛ: отдельно отмечается явление *мокрый снег* - смешанные осадки, выпадающие при положительной температуре воздуха в виде хлопьев тающего снега.

Дождь со снегом

Смешанные осадки, выпадающие (чаще всего при положительной температуре воздуха) в виде смеси капель и снежинок. Если дождь со снегом выпадает при отрицательной температуре воздуха, частицы осадков намерзают на предметы и образуется гололёд.

ЖУРНАЛ: отмечаются одновременно два явления - *дождь* и *снег*.

Моросящие осадки

Характеризуются небольшой интенсивностью, монотонностью выпадения без изменения интенсивности; начинаются и прекращаются постепенно. Длительность непрерывного выпадения составляет обычно несколько часов (а иногда 1-2 суток). Выпадают из слоистых облаков или тумана; при этом в большинстве случаев облачность сплошная (10 баллов) и лишь изредка значительная (7-9 баллов, - обычно в начале или конце периода выпадения осадков). Часто сопровождаются ухудшением видимости (дымка, туман).

Морось

Жидкие осадки в виде очень мелких капель (диаметром менее 0.5 мм), как бы парящих в воздухе. Сухая поверхность намокает медленно и равномерно. Осаждаясь на поверхность воды не образует на ней расходящихся кругов.

Переохлаждённая морось

Жидкие осадки в виде очень мелких капель (диаметром менее 0.5 мм), как бы парящих в воздухе, выпадающие при отрицательной температуре воздуха (чаще всего 0...-10°, иногда до -15°) - оседая на предметы, капли смерзаются и образуется гололёд.

ЖУРНАЛ: отмечается *морось*.

Снежные зёрна

Твердые осадки в виде мелких непрозрачных белых частиц (палочек, крупинок, зёрен) диаметром менее 2 мм, выпадающие при отрицательной температуре воздуха.

Ливневые осадки

Характеризуются внезапностью начала и конца выпадения, резким изменением интенсивности. Длительность непрерывного выпадения составляет обычно от нескольких минут до 1-2 часов (иногда несколько часов, в тропиках - до 1-2 суток). Нередко сопровождаются грозой и кратковременным усилением ветра (шквалом).

Выпадают из кучево-дождевых облаков, при этом количество облаков может быть как значительным (7-10 баллов), так и небольшим (4-6 баллов, а в ряде случаев даже 2-3 балла). Главным признаком осадков ливневого характера является не их высокая интенсивность (ливневые осадки могут быть и слабыми), а именно сам факт выпадения из конвективных (чаще всего кучево-дождевых) облаков, что и определяет колебания интенсивности осадков.

В жаркую погоду слабый ливневой дождь может выпадать из мощно-кучевых облаков, а иногда (очень слабый ливневой дождь) - даже из средних кучевых облаков.

Ливневой дождь

Дождь ливневого характера.

Ливневой снег

Снег ливневого характера. Характеризуется резкими колебаниями горизонтальной видимости от 6-10 км

до 2-4 км (а порой до 500-1000 м, в ряде случаев даже 100-200 м) в течение периода времени от нескольких минут до получаса (снежные "заряды").

ЖУРНАЛ: отдельно отмечается явление *ливневой мокрый снег* - смешанные осадки ливневого характера, выпадающие при положительной температуре воздуха в виде хлопьев тающего снега.

Ливневой дождь со снегом

Смешанные осадки ливневого характера, выпадающие (чаще всего при положительной температуре воздуха) в виде смеси капель и снежинок. Если ливневой дождь со снегом выпадает при отрицательной температуре воздуха, частицы осадков намерзают на предметы и образуется *гололёд*.

ЖУРНАЛ: отмечаются одновременно два явления - *ливневой дождь* и *ливневой снег*.

Снежная крупа

Твердые осадки ливневого характера, выпадающие при температуре воздуха около нуля° и имеющие вид непрозрачных белых крупинок диаметром 2-5 мм; крупинки хрупкие, легко раздавливаются пальцами. Нередко выпадает перед ливневым снегом или одновременно с ним.

Ледяная крупа

Твердые осадки ливневого характера, выпадающие при температуре воздуха от -5 до +10° в виде прозрачных (или полупрозрачных) ледяных крупинок диаметром 1-3 мм; в центре крупинок - непрозрачное ядро. Крупинки достаточно твёрдые (раздавливаются пальцами с некоторым усилием), при падении на твёрдую поверхность отскакивают.

В ряде случаев крупинки могут быть покрыты водяной плёнкой (или выпадать вместе с капельками воды), и если температура воздуха ниже нуля°, то падая на предметы, крупинки смерзаются и образуется *гололёд*.

Град

Твердые осадки, выпадающие в теплое время года (при температуре воздуха выше +10°) в виде кусочков льда различной формы и размеров: обычно диаметр градин составляет 2-5 мм, но в ряде случаев отдельные градины достигают размеров голубиного и даже куриного яйца (тогда град наносит значительные повреждения растительности, поверхностей автомобилей, разбивает оконные стёкла и т.д.). Продолжительность града обычно невелика - от 1-2 до 10-20 минут.

В большинстве случаев град сопровождается ливневым дождём и грозой.

Неклассифицированные осадки

Ледяные иглы

Твёрдые осадки в виде мельчайших ледяных кристаллов, парящих в воздухе, образующиеся в морозную погоду (температура воздуха ниже -10...-15°). Днём сверкают в свете лучей солнца, ночью - в лучах луны или при свете фонарей. Нередко ледяные иглы образуют в ночное время красивые светящиеся "столбы", идущие от фонарей вверх в небо.

Наблюдаются чаще всего при ясном или малооблачном небе, иногда выпадают из перисто-слоистых или перистых облаков.

Осадки, образующиеся на поверхности земли и на предметах

Роса

ЖУРНАЛ. Капельки воды, образующиеся на поверхности земли, растениях, предметах, крышах зданий и автомобилей в результате конденсации содержащегося в воздухе водяного пара при положительной температуре воздуха и почвы, малооблачном небе и слабом ветре. Чаще всего наблюдается в ночные и ранние утренние часы, может сопровождаться дымкой или туманом. Обильная роса может вызвать измеримое количество осадков (до 0.5 мм за ночь), стекание на землю воды с крыш.

Иней

ЖУРНАЛ. Белый кристаллический осадок, образующийся на поверхности земли, траве, предметах, крышах зданий и автомобилей, снежном покрове в результате сублимации содержащегося в воздухе водяного пара при отрицательной температуре почвы, малооблачном небе и слабом ветре. Наблюдается в вечерние, ночные и утренние часы, может сопровождаться дымкой или туманом. По сути дела это аналог *росы*, образующийся при отрицательной температуре.

На ветках деревьев, проводах иней отлагается слабо (в отличие от изморози) - на проводе гололёдного станка (диаметр 5 мм) толщина отложения инея не превышает 3 мм.

Кристаллическая изморозь

Белый кристаллический осадок, состоящий из мелких тонкоструктурных блестящих частиц льда, образующийся в результате сублимации содержащегося в воздухе водяного пара на ветвях деревьев и проводах в виде пушистых гирлянд (легко осыпаящихся при встряхивании). Наблюдается в малооблачную (ясно, или облака верхнего и среднего яруса, или разорванно-слоистые) морозную погоду (температура воздуха ниже $-10...-15^{\circ}$), при дымке или тумане (а иногда и без них) при слабом ветре или штиле.

Отложение изморози происходит, как правило, в течение нескольких часов ночью, днём она постепенно осыпается под воздействием солнечных лучей, однако в облачную погоду и в тени может сохраняться в течение всего дня.

На поверхности предметов, крышах зданий и автомобилей изморозь отлагается очень слабо (в отличие от инея). Впрочем, нередко изморозь сопровождается *инеем*.

Зернистая изморозь

Белый рыхлый снеговидный осадок, образующийся в результате оседания мелких капелек переохлаждённого тумана на ветвях деревьев и проводах в облачную туманную погоду (в любое время суток) при температуре воздуха от нуля до -10° и умеренном или сильном ветре. При укрупнении капель тумана может перейти в *гололёд*, а при понижении температуры воздуха в сочетании с ослаблением ветра и уменьшением количества облачности в ночное время - в *кристаллическую изморозь*.

Нарастание зернистой изморози продолжается столько, сколько длится туман и ветер (обычно несколько часов, а иногда и несколько суток). Сохранение отложившейся зернистой изморози может продолжаться несколько суток.

Гололёд

Слой плотного стекловидного льда (гладкого или слегка бугристого), образующийся на растениях, проводах, предметах, поверхности земли в результате намерзания частиц осадков (переохлаждённого мороси, переохлаждённого дождя, ледяного дождя, ледяной крупы, иногда дождя со снегом) при соприкосновении с поверхностью, имеющей отрицательную температуру. Наблюдается при температуре воздуха чаще всего от нуля до -10° (иногда до -15°), а при резком потеплении (когда земля и предметы ещё сохраняют отрицательную температуру) - при температуре воздуха $0...+3^{\circ}$. Сильно затрудняет передвижение людей, животных, транспорта, может приводить к обрывам проводов и обламыванию ветвей деревьев (а иногда и к массовому падению деревьев и мачт линий электропередач).

Нарастание гололёда продолжается столько, сколько длятся переохлаждённые осадки (обычно несколько часов, а иногда при мороси и тумане - несколько суток). Сохранение отложившегося гололёда может продолжаться несколько суток.

Гололедица

ЖУРНАЛ. Слой бугристого льда или обледеневшего снега, образующийся на поверхности земли вследствие замерзания талой воды, когда после оттепели происходит понижение температуры воздуха и почвы (переход к отрицательным значениям температуры).

В отличие от *гололёда*, гололедица наблюдается только на земной поверхности, чаще всего на дорогах, тротуарах и тропинках. Сохранение образовавшейся гололедицы может продолжаться много дней подряд, пока она не будет покрыта сверху свежеевыпавшим снежным покровом или не растает полностью в результате интенсивного повышения температуры воздуха и почвы.

Туманы

Скопление в воздухе мельчайших продуктов конденсации водяного пара (при температуре воздуха выше -10° это мельчайшие капельки воды, при $-10...-15^{\circ}$ - смесь капелек воды и кристалликов льда, при температуре ниже -15° - кристаллики льда, сверкающие в солнечных лучах или в свете луны и фонарей). Относительная влажность воздуха при туманах обычно близка к 100% (по крайней мере, превышает 85-90%).

Однако в сильные морозы (-30° и ниже) в населённых пунктах, на железнодорожных станциях и аэродромах туманы могут наблюдаться при любой относительной влажности воздуха (даже менее 50%) - за счёт конденсации водяного пара, образующегося при сгорании топлива (в двигателях, печах и т.п.) и выбрасываемого в атмосферу через выхлопные трубы и дымоходы.

Непрерывная продолжительность туманов составляет обычно от нескольких часов (а иногда полчаса-час) до нескольких суток, особенно в холодный период года.

Дымка

Сильно разреженный туман - сплошное более-менее однородное серое или голубоватое помутнение атмосферы с горизонтальной дальностью видимости (на уровне глаз стоящего на земле наблюдателя, то

есть около 2 м над поверхностью земли) от 1 до 9 км. Может наблюдаться перед *туманом* или после него, а чаще как самостоятельное явление. Нередко наблюдается во время осадков, особенно жидких и смешанных (дождя, мороси, дождя со снегом и т.п.) вследствие увлажнения воздуха в приземном слое атмосферы за счёт частичного испарения выпадающих осадков. Не следует путать дымку с ухудшением горизонтальной дальности видимости из-за пыли, дыма и т.п. В отличие от этих явлений, относительная влажность воздуха при дымке превышает 85-90%.

Поземный туман

Туман, низко стелящийся над земной поверхностью (или водоёмом) сплошным тонким слоем или в виде отдельных клочьев, так что в слое тумана горизонтальная видимость составляет менее 1000 м, а на уровне 2 м - превышает 1000 м (обычно составляет, как при дымке, от 1 до 9 км, а иногда 10 км и более). Наблюдается, как правило, в вечерние, ночные и утренние часы.

ЖУРНАЛ. Отдельно отмечается *поземный ледяной туман* - наблюдаемый при температуре воздуха ниже -10...-15° и состоящий из кристалликов льда, сверкающих в солнечных лучах или в свете луны и фонарей.

Просвечивающий туман

Туман с горизонтальной видимостью на уровне 2 м менее 1000 м (обычно она составляет несколько сотен метров, а в ряде случаев снижается даже до нескольких десятков метров), слабо развитый по вертикали, так что возможно определить состояние неба (количество и форму облаков). Чаще наблюдается вечером, ночью и утром, но может наблюдаться и днём, особенно в холодное полугодие при повышении температуры воздуха. ЖУРНАЛ. Отдельно отмечается *просвечивающий ледяной туман* - наблюдаемый при температуре воздуха ниже -10...-15° и состоящий из кристалликов льда, сверкающих в солнечных лучах или в свете луны и фонарей.

Туман

Сплошной туман с горизонтальной видимостью на уровне 2 м менее 1000 м (обычно она составляет несколько сотен метров, а в ряде случаев снижается даже до нескольких десятков метров), достаточно развитый по вертикали, так что невозможно определить состояние неба (количество и форму облаков). Чаще наблюдается вечером, ночью и утром, но может наблюдаться и днём, особенно в холодное полугодие при повышении температуры воздуха.

ЖУРНАЛ. Отдельно отмечается *ледяной туман* - наблюдаемый при температуре воздуха ниже -10...-15° и состоящий из кристалликов льда, сверкающих в солнечных лучах или в свете луны и фонарей.

Метели

Перенос снега ветром с поверхности снежного покрова (приводящий к перераспределению снега и образованию сугробов), либо взвешенные в атмосфере частицы снега.

Позёмок

Перенос снега ветром с поверхности снежного покрова в слое высотой 0.5-2 м, не приводящий к заметному ухудшению видимости (если нет других атмосферных явлений - снегопада, дымки и т.п. - горизонтальная видимость на уровне 2 м составляет 10 км и более).

Может наблюдаться как в малооблачную погоду, так и при снегопаде. Возникает обычно при сухом несмёрзшемся снежном покрове и скорости ветра 5-6 м/с и более.

Низовая метель

Перенос снега ветром с поверхности снежного покрова в слое высотой несколько метров с заметным ухудшением горизонтальной видимости (обычно на уровне 2 м она составляет от 1 до 9 км, но в ряде случаев может снижаться до нескольких сотен метров). Вертикальная видимость при этом вполне хорошая, так что возможно определить состояние неба (количество и форму облаков).

Может наблюдаться как в малооблачную погоду, так и при снегопаде. Возникает обычно при сухом несмёрзшемся снежном покрове и скорости ветра 7-9 м/с и более.

Общая метель

Интенсивный перенос снега ветром в приземном слое атмосферы, достаточно развитый по вертикали, так что невозможно определить состояние неба (количество и форму облаков) и невозможно установить, выпадает ли снег из облаков или переносится только снег, поднятый с поверхности снежного покрова. Горизонтальная видимость на уровне 2 м обычно составляет от 1-2 км до нескольких сотен и даже до нескольких десятков метров.

Возникает обычно при сухом несмёрзшемся снежном покрове и скорости ветра 10 м/с и более.

Снежная мгла

Сплошное более-менее однородное помутнение атмосферы с горизонтальной дальностью видимости на уровне 2 м от 1 до 9 км (иногда видимость снижается до нескольких сотен и даже до нескольких десятков метров) за счёт взвешенных в воздухе мелких частиц снега, искрящихся в солнечных лучах или в свете луны и фонарей. Может наблюдаться перед метелью или после неё (при ослаблении ветра), а также при отдалённой метели, когда поднятые в воздух частицы снега переносятся ветром на большое расстояние. При этом в видимой окрестности нет признаков подъёма снега ветром с поверхности земли. Не следует путать снежную мглу с *ледяными иглами*.

Литометеоры

Перенос пыли (песка) ветром с земной поверхности, либо взвешенные в атмосфере твёрдые частицы (пыль, дым, гарь и т.п.).

Пыльный (песчаный) позёмок

Перенос пыли (частиц почвы, песчинок) ветром с земной поверхности в слое высотой 0.5-2 м, не приводящий к заметному ухудшению видимости (если нет других атмосферных явлений, горизонтальная видимость на уровне 2 м составляет 10 км и более). Возникает обычно при сухой поверхности почвы и скорости ветра 6-9 м/с и более.

Пыльная (песчаная) буря

Перенос больших количеств пыли (частиц почвы, песчинок) ветром с земной поверхности в слое высотой несколько метров с заметным ухудшением горизонтальной видимости (обычно на уровне 2 м она составляет от 1 до 9 км, но в ряде случаев может снижаться до нескольких сотен и даже до нескольких десятков метров). При этом наблюдается подъём пыли (песка) в воздух и одновременно оседание пыли на большой территории.

В зависимости от цвета почвы в данном регионе, отдалённые предметы приобретают сероватый, желтоватый или красноватый оттенок.

Возникает обычно при сухой поверхности почвы и скорости ветра 10 м/с и более.

Пыль (взвешенная в воздухе), пыльная мгла

Сплошное более-менее однородное помутнение атмосферы с горизонтальной дальностью видимости на уровне 2 м от 1 до 9 км (иногда видимость снижается до нескольких сотен и даже до нескольких десятков метров) за счёт взвешенной в воздухе пыли и частиц почвы. Может наблюдаться перед пыльной бурей или после неё (при ослаблении ветра), а также при отдалённой пыльной буре, когда поднятые в воздух пылинки переносятся ветром на большое расстояние. При этом в видимой окрестности нет признаков подъёма пыли ветром с поверхности земли.

В зависимости от цвета почвы в данном регионе, отдалённые предметы приобретают сероватый, желтоватый или красноватый оттенок.

Не следует путать пыль с *пыльной бурей*.

Дым

Сплошное помутнение атмосферы с горизонтальной дальностью видимости на уровне 2 м от 1 до 9 км (иногда видимость снижается до нескольких сотен и даже до нескольких десятков метров) за счёт взвешенных в воздухе частиц дыма, гари и т.д. различного происхождения (производственный дым, городской смог от выхлопов автомобилей, дым от торфяных, лесных, степных пожаров и т.д.).

Отдалённые предметы приобретают сероватый или желтоватый оттенок.

ЖУРНАЛ: отмечается *мгла*.

Мгла

Сплошное помутнение атмосферы с горизонтальной дальностью видимости на уровне 2 м от 1 до 9 км (иногда видимость снижается до нескольких сотен и даже до нескольких десятков метров) за счёт взвешенных в воздухе частиц пыли, дыма, гари, пыльцы растений и т.д. При этом трудно определить, чем именно вызвано ухудшение видимости, однако очевидно то, что это не *дымка*, поскольку относительная влажность воздуха невелика (по крайней мере менее 80-85%, нередко снижается до 20-40% и даже до 5-10%).

Отдалённые предметы приобретают сероватый или желтоватый оттенок.

Пыльные (песчаные) вихри

Вихревое движение воздуха, возникающее у поверхности земли днём в малооблачную (обычно жаркую) погоду при сильном прогреве земной поверхности солнечными лучами. Вихрь имеет вертикальную (или слегка наклонённую к горизонту) ось вращения, высота вихря составляет обычно 10-20 м (в ряде

случаев несколько десятков метров), диаметр 1-5 м, время существования - от нескольких секунд до 1-2 минут. Вихрь поднимает с поверхности земли пыль, песок, камешки, мелкие предметы и переносит их иногда на значительное расстояние (сотни метров). Вихри проходят узкой полосой, так что непосредственно на метеостанции ветер может быть слабым, но фактически внутри вихря скорость ветра достигает 8-10 м/с и более.

Горизонтальная видимость на уровне 2 м составляет 10 км и более.

Конвективные явления

Явления, связанные с конвективным переносом (восходящие и нисходящие движения) больших масс воздуха под кучево-дождевыми облаками.

Шквал

Внезапное резкое усиление ветра (на 8 м/с и более за период времени 1-2 минуты), связанное с кучево-дождевыми облаками. Скорость ветра при шквале превышает 10 м/с (может достигать 20-25 м/с и более), продолжительность - от нескольких минут до 1-1.5 часов. Шквал зачастую наносит разрушения - ломает деревья, повреждает лёгкие здания и т.д.

Шквал нередко сопровождается ливневым дождём и грозой, в ряде случаев - градом, а если почва сухая и нет осадков - пыльной бурей.

Смерч (торнадо)

Сильный вихрь, образующийся в жаркую погоду под хорошо развитым кучево-дождевым облаком и распространяющийся к поверхности земли (или водоёма) в виде гигантского тёмного вращающегося столба или воронки. Вихрь имеет вертикальную (или слегка наклонённую к горизонту) ось вращения, высота вихря составляет сотни метров (в ряде случаев 1-2 км), диаметр 10-30 м, время существования - от нескольких минут до 0.5-1 часа и более. Приблизившись к поверхности, смерч втягивает в себя воду, песок, пыль, а нередко и тяжёлые предметы, нанося значительные разрушения (ломая и вырывая с корнем деревья, повреждая здания, переворачивая автомобили и т.д.). Смерч проходит узкой полосой, так что непосредственно на метеостанции значительного усиления ветра может и не быть, но фактически внутри смерча скорость ветра достигает 20-30 м/с и более.

Смерч чаще всего сопровождается ливневым дождём и грозой, нередко - и градом.

Электрические явления

Гроза

Мощные разряды атмосферного электричества (между облаками или между облаком и землёй), сопровождаемые вспышкой света (молнией) и резкими звуковыми раскатами (громом), слышными на расстоянии в несколько километров (иногда до 15-20 км). Явление связано с кучево-дождевыми облаками, нередко сопровождается ливневым дождём и шквалом, в ряде случаев - градом.

Зарница

Короткие сполохи света, освещающие небо, связанные с далёкой грозой (днём видны на фоне облаков расстоянии до 15-20 км, а ночью видны на расстоянии до 70-100 км, при этом небо может быть малооблачным или вообще ясным).

Полярное сияние

ЖУРНАЛ. Голубоватое или желтоватое свечение ночного неба в виде обширных причудливых пятен с изменяющимися очертаниями, возникающее в ионосфере при значительных колебаниях земного магнитного поля.

Оптические явления

Мираж

ЖУРНАЛ. Явление, при котором в результате аномальной рефракции лучей света в воздухе появляется мнимое изображение реально существующего предмета (порой в искажённом или перевёрнутом виде), не видимого в обычных условиях. Наиболее распространёнными разновидностями миража являются: нижний мираж - возникает летним днём в жаркую погоду в виде отражения неба на земной поверхности

или на дорогах на большом расстоянии от наблюдателя (колышащееся серебристое "marevo" у горизонта), по внешнему виду напоминающего лужи воды;

верхний мираж - возникает в любое время года ранним утром в тихую малооблачную погоду с хорошей горизонтальной видимостью (при отсутствии дымки и т.п. явлений) в виде приподнимающегося горизонта (появляется как бы второй горизонт, более тёмный, располагающийся параллельно "настоящему" и выше его), так что становятся видны предметы (леса, холмы, населённые пункты и т.д.), расположенные на удалении в несколько десятков километров от наблюдателя и не видимые в обычных условиях; после восхода солнца мираж быстро разрушается, при этом очертания предметов причудливо изменяются (может исчезнуть сначала половина здания, потом вторая, и т.д.).

[Обсудить в Метеоклубе](#)