

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ
ЯВЛЕНИЯ
Часть III**

**Опасные явления погоды
конвективного происхождения**

Учебно-методическое пособие для вузов

Составитель
А.В. Назаренко

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2008

Утверждено научно-методическим советом факультета географии и геоэкологии 15 марта 2008 г., протокол № 5

Рецензент канд. г. наук, доцент, полковник А.Н. Маслобойщиков

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета.

Рекомендуется для студентов 2 курса дневной и заочной форм обучения факультета географии и геоэкологии Воронежского государственного университета, изучающих курс «Опасные природные явления».

Для специальности: 020804 – Геоэкология

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Физические и аэросиноптические условия развития конвективных явлений погоды	4
1.1. Физические условия образования конвективных явлений.....	4
1.2. Адиабатические и неадиабатические модели конвекции.....	8
1.3. Аэросиноптические условия образования конвективной облачности, ливней и гроз.....	12
1.4. Параметры конвекции	18
2. Условия образования конвективных комплексов и прогноз конвективной облачности.....	20
2.1. Системы мелкой и глубокой конвекции.....	20
2.2. Условия образования и прогноз конвективной облачности.....	24
3. Физические условия образования, характеристика и прогноз ливневых осадков и града.....	27
3.1. Физические условия образования, характеристика и прогноз ливневых осадков	27
3.2. Условия образования и прогноз града.....	32
3.3. Методы борьбы с градобитием	36
4. Характеристика, условия образования и прогноз гроз	37
4.1. Характеристика и классификация гроз.....	37
4.2. Физическая сущность и алгоритмы прогноза гроз.....	40
5. Физические, аэросиноптические условия образования и прогноз шквалов.....	43
5.1. Физические условия образования шквалов	44
5.2. Аэросиноптические условия возникновения шквалов	46
5.3. Физико-статистические методы прогноза шквалов	50
6. Условия возникновения и характеристика смерчей	53
6.1. Характеристика и классификация смерчей и тромбов	54
6.2. Условия возникновения и развития смерчей в средних широтах	58
Заключение	61
Литература	62

ВВЕДЕНИЕ

Одним из видов вертикальных движений в атмосфере является **конвекция**. Атмосферная конвекция в теплое время года не только осуществляет вертикальный перенос тепла, водяного пара и количества движения, но и является основной причиной образования конвективных облаков: кучевых (Cu), мощных кучевых (Cu cong) и кучево-дождевых (Cb).

С кучево-дождевыми облаками связан комплекс наиболее опасных явлений погоды. Это *ливневой дождь, град, сильный снегопад, «снежные заряды», гроза*. К числу опасных проявлений конвективной деятельности относятся также *шквалы и смерчи*, которые обладают огромной разрушительной силой, приносят значительный материальный ущерб и нередко приводят к гибели людей.

Восходящие и нисходящие движения в кучево-дождевых облаках (в отдельных случаях свыше 30 м/с) могут вызывать катастрофические перегрузки и потерю управления летательным аппаратом. В верхней части этих облаков наблюдается *сильное обледенение*, в грозовых кучево-дождевых облаках возможно поражение самолетов и вертолетов *молниями*. В кучево-дождевых облаках и на расстоянии нескольких километров от них возникает сильная турбулентность, вызывающая болтанку летательных аппаратов, в результате полет становится неуправляемым. Данные опасные конвективные явления исключают полеты в кучево-дождевых облаках.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ И АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ

1.1. Физические условия образования конвективных явлений

Конвективные вертикальные движения воздуха (или конвекция) возникают в результате действия на элементарный объем (частицу) сил плавучести, а также механических сил, обусловленных динамическими факторами. В первом случае образуется термическая, или свободная, конвекция, а во втором — вынужденная.

Основными причинами формирования *термической конвекции* в пограничном слое атмосферы являются неравномерный прогрев подстилающей поверхности и неустойчивая вертикальная стратификация атмосферы. В этом случае перегретый объем воздуха начинает подниматься от исходного уровня, его температура падает с высотой медленнее, чем окружающего воздуха, и он оказывается теплее и легче относительно окружающей среды на уровнях выше исходного. Отметим, что для этого в ненасыщенном воздухе вертикальный градиент температуры должен быть больше сухоадиабатического: $\gamma > \gamma_a$ а в насыщенном — больше влажно-адиабатического: $\gamma > \gamma_{ва}$.

Вынужденная конвекция преимущественно наблюдается в зоне атмосферных фронтов и на наветренных склонах возвышенностей и гор. Воздух в этом случае вначале поднимается за счет упорядоченных вертикальных движений или за счет натекания потока на возвышенность, а выше уровня конденсации он поднимается за счет выделения теплоты конденсации, т. е. под воздействием термических причин.

Конвекция на атмосферных фронтах может развиваться одновременно со слоисто-дождевой облачностью и обложными осадками. Гряды конвективных облаков в таких случаях бывают скрыты от наземного наблюдателя, но хорошо видны на спутниковых фотографиях и обнаруживаются радиолокационными наблюдениями. Такой тип конвекции носит название *затопленной*.

Наибольшую опасность представляют кучево-дождевые облака. Их разделяют на три типа: *одноячейковые, многоячейковые и суперячейковые*.

Одноячейковые облака *Cb* развиваются при слабом ветре у поверхности земли в малоградиентном барическом поле. Они состоят из одной конвективной ячейки с восходящим потоком в центральной части. В процессе своего развития они проходят три стадии: *кучевого облака, зрелости и распада*. Их диаметр редко превышает 5—10 км, а продолжительность их жизни составляет 30—45 мин. Чаще всего это *ливневые облака*.

Многоячейковые (мультиячейковые) кучево-дождевые облака состоят одновременно из нескольких ячеек, при этом каждая ячейка в фиксированный момент времени находится на различных стадиях своего развития. Из рис. 1 видно, что в начальный момент времени t_0 облако состоит из четырех ячеек (ячейки пронумерованы цифрами). Возникло облако как одноячейковое, но по мере его развития справа на расстоянии 20—30 км от него возникают дочерние ячейки. Причиной их образования является крупномасштабная конвергенция в зоне ложбин и атмосферных фронтов (преимущественно на основных и вторичных холодных фронтах).

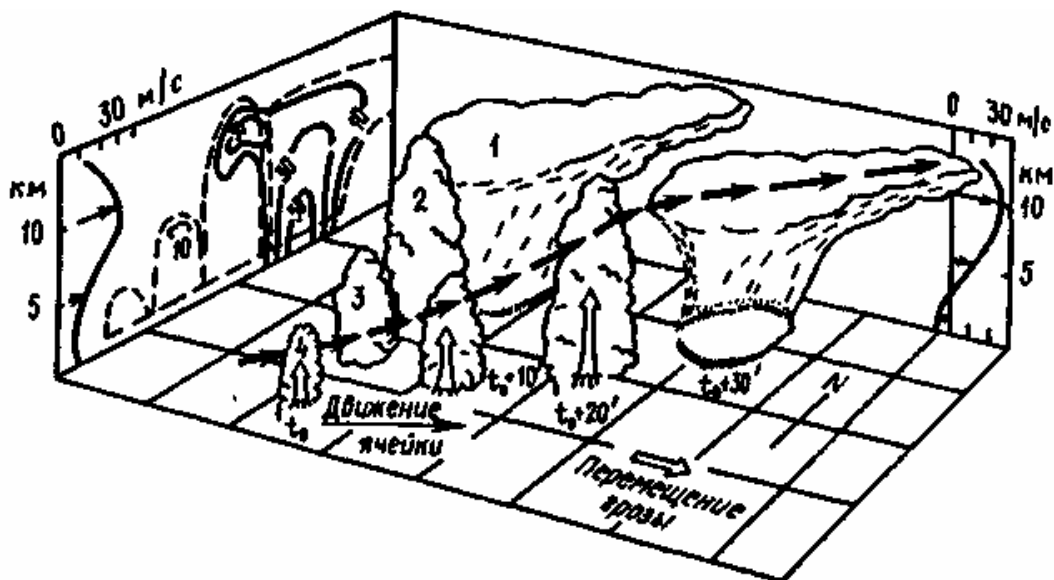


Рис. 1. Схематическое изображение многоячейкового кучево-дождевого облака

На рис. 1 показаны также развитие самой молодой (четвертой) ячейки в последовательные моменты времени: вертикальное сечение радиоэха в начальный момент времени (в левой части рисунка) и профиль ветра. Общая продолжительность существования мультячейковых Сб достигает нескольких часов, средняя — около 1,5 ч.

Чем больше развита ячейка по вертикали, тем больше скорость ее горизонтального переноса. Первичные ячейки могут догонять дочерние и сливаться с ними. Они могут также в начале своего развития сливаться в единое многоячейковое Сб.

Многоячейковые облака Сб составляют до 30 % всех градовых очагов, с ними связаны также сильные ливни, грозы и шквалы.

Суперячейковые кучево-дождевые облака являются наиболее мощными и долгоживущими (до 4 часов). С ними связаны *наиболее интенсивные грозы и катастрофические градобития*.

Суперячейки развиваются *на холодных фронтах и холодных фронтах окклюзии* при сильной неустойчивости атмосферы и больших сдвигах ветра. Они состоят из одной квазистационарной ячейки, диаметр которой может превышать 10—15 км, а высота составляет 12—16 км. На правом фланге такой ячейки (по потоку) располагается зона мощного восходящего потока, в которой скорости могут достигать 50 м/с (рис. 2). В тыловой части облака в зоне интенсивных осадков формируется нисходящий поток со скоростями до 20 м/с и более. Эти две зоны разделяет резко выраженный *холодный мезофронт (линия шквалов)*, после прохождения которого давление и влажность воздуха растут, а температура резко падает.

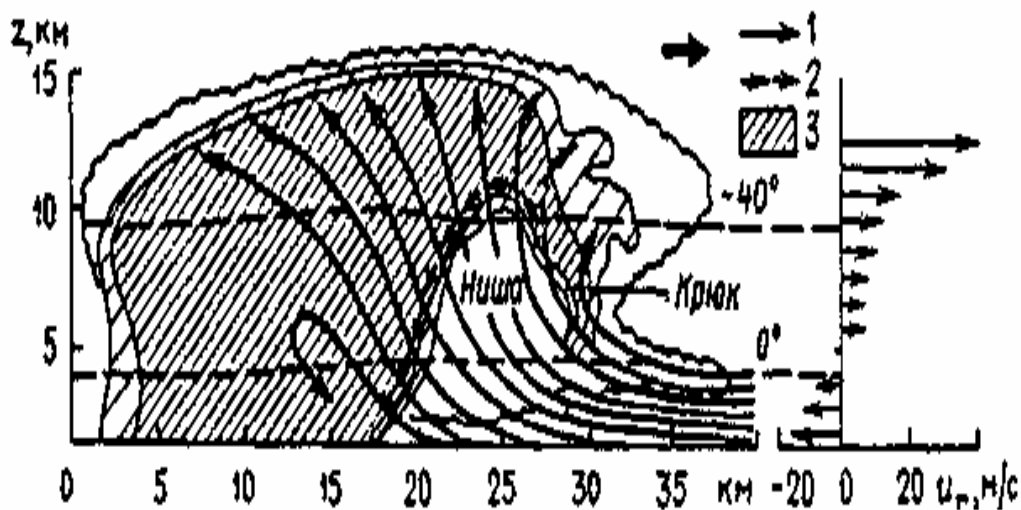


Рис. 2. Вертикальный разрез через мощное суперячейковое облако в направлении перемещения Сб:

1 — линия тока; 2 — траектория градин; 3 — область наиболее интенсивного радиоэха

1.2. Адиабатические и неадиабатические модели конвекции

В адиабатических моделях конвекции предполагается, что подъем (опускание) какого-либо объема воздуха происходит без обмена теплом, влажностью и количеством движения с окружающим воздухом. При этом принимается квазистатическое условие, согласно которому давление внутри поднимающегося объема воздуха мгновенно выравнивается с давлением окружающей среды. Рассмотрим основные виды адиабатических моделей.

Модель частицы

В соответствии с моделью частицы процесс подъема воздуха происходит следующим образом. В результате перегрева некоторой частицы воздуха относительно окружающей среды за счет действия архимедовых сил начинается ее подъем с ускорением

$$\frac{dw}{dt} = \frac{g}{T} (T' - T) = \frac{g}{T} [T'_0 - T_0 + (\bar{\gamma} - \bar{\gamma}') \cdot \Delta z], \quad (1)$$

где T'_0, T' — температура поднимающейся частицы на исходном уровне z_0 и на высоте z ;

T_0, T — температура окружающего воздуха на исходном уровне z_0 и на высоте z ;

$\bar{\gamma}', \gamma$ — средние вертикальные градиенты температуры в перемещающейся частице и в окружающей среде в слое $\Delta z = z - z_0$.

Если воздух на исходном уровне z_0 является ненасыщенным, температура его в результате подъема меняется по *сухоадиабатическому закону*. Падение температуры с высотой объясняется адиабатическим расширением поднимающейся частицы.

Выше *уровня конденсации* температура воздуха меняется по *влажно-адиабатическому закону*. Поднимающийся воздух становится насыщенным и начинается его конденсация с образованием капель воды и кристаллов льда. *Насыщенный воздух*, содержащий продукты конденсации, будет называться в дальнейшем *облачным воздухом*. Начиная с этого уровня, подъем облачного воздуха будет сопровождаться выделением скрытой теплоты конденсации или сублимации. В связи с этим его температура будет уменьшаться медленнее, чем при сухоадиабатическом подъеме. Условно можно считать, что облачный воздух будет подниматься по влажной адиабате (кривая состояния) и процесс подъема будет происходить до тех пор, пока температура поднимающегося воздуха не сравняется с температурой окружающей среды. Уровень, на котором происходит выравнивание этих температур, называется *уровнем конвекции*.

Уровень конденсации принято сопоставлять с нижней, а ***уровень конвекции*** — с верхней границей конвективных облаков.

Для атмосферного слоя с давлением на границах P_0 и P энергия неустойчивости, т. е. работа, которая совершается при подъеме единицы массы за счет силы плавучести, описывается выражением:

$$E = R \int_{P_0}^P (T' - T) d \ln P, \quad (2)$$

где R — газовая постоянная для сухого воздуха.

Величина E представляет собой количественную меру кинетической энергии конвекции. В неустойчиво стратифицированном слое $E > 0$.

Графически энергию неустойчивости можно определить с помощью аэрологической диаграммы. Площадь, заключенная между кривыми состояния и стратификации, как это следует из формулы (2), является показателем положительной энергии неустойчивости.

Модель слоя

В модели слоя предполагается следующее:

1. Наряду с восходящими движениями, приводящими к образованию конвективных облаков, принимается существование компенсирующих нисходящих движений.

2. Массы поднимающегося и опускающегося воздуха в некотором слое воздуха Δz равны.

3. Подъем воздуха происходит влажноадиабатически, а опускание — сухоадиабатически.

4. Между поднимающимся облачным и опускающимся, окружающим облако воздухом отсутствует тепло-, влаго- и массообмен.

Неадиабатические модели конвекции

При развитии конвекции в реальной атмосфере между облаком и окружающей средой осуществляется непрерывный обмен воздухом, что приводит к нарушению адиабатичности процессов. Рассмотрим причины, приводящие к неадиабатичности при развитии конвективной облачности.

Основной причиной обмена теплом, водяным паром и количеством движения между облачным и окружающим воздухом является вовлечение.

Под вовлечением понимают процесс проникновения воздуха из окружающей атмосферы внутрь конвективных элементов. На отклонение процессов внутри облаков от адиабатических влияют также затраты тепла на испарение облачных частиц и радиационный теплообмен между облаком и окружающей средой.

Роль испарения более значительна, чем роль радиационных факторов. Испарение облачных частиц сопровождается уменьшением температуры в облаке и его влажности. Эти процессы особенно интенсивны при малой относительной влажности окружающего воздуха, поэтому низкая относительная влажность препятствует развитию конвективных облаков даже при значительной неустойчивости стратификации.

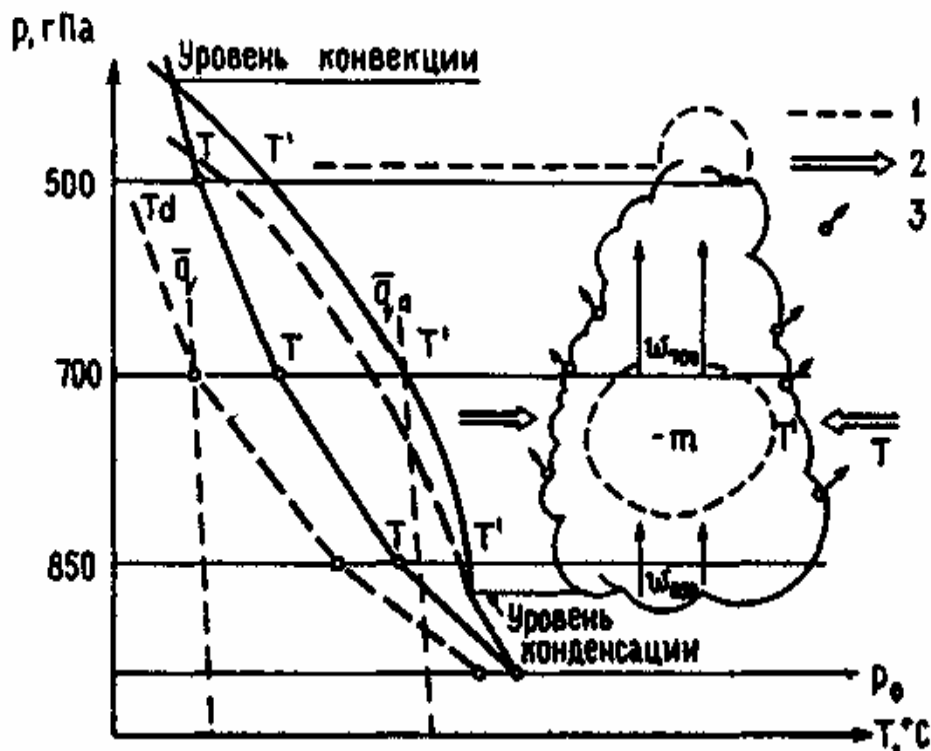


Рис. 3. Неадиабатическая модель конвекции:

1 — положение облачной адиабаты; 2 — вовлечение окружающего воздуха; 3 — испарение облачных капель; W_{850} и W_{700} — конвективные вертикальные движения; $-m$ — изменение массы облачного воздуха без учета вовлечения

В результате вовлечения более холодного воздуха температура поднимающегося облачного воздуха уменьшается. Кроме того, происходят затраты тепла на испарение облачных элементов с границ облака, обусловленное тем, что воздух окружающей среды ненасыщен.

1.3. Аэросиноптические условия образования конвективной облачности, ливней и гроз

Физические условия развития конвекции и связанные с ней явления погоды обусловлены в первую очередь аэросиноптическими условиями. В зависимости от характера синоптического положения конвективная облачность, ливни и грозы подразделяются на внутримассовые и фронтальные. Рассмотрим наиболее благоприятные синоптические условия для образования внутримассовых конвективных явлений.

Тыловая часть циклона. В тыловой части циклонов, выходящих на материк в теплое время года, как правило, наблюдается морской арктический (МАВ) или морской умеренный (МУВ) воздух.

По мере продвижения над теплой подстилающей поверхностью холодный воздух быстро прогревается и становится неустойчивым. В МАВ вследствие низких температур и небольшого влагосодержания атмосферы конвективная облачность не получает существенного вертикального развития. При достаточном его увлажнении, что в большинстве случаев наблюдается в весенний период при перемещении над влажной подстилающей поверхностью, из Сb могут выпадать ливневые осадки (рис. 4).

В МУВ температура воздуха выше и влагосодержание больше, поэтому для данной воздушной массы характерно образование мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, а при продвижении в южные широты его неустойчивость возрастает и в данном воздухе могут наблюдаться грозы.

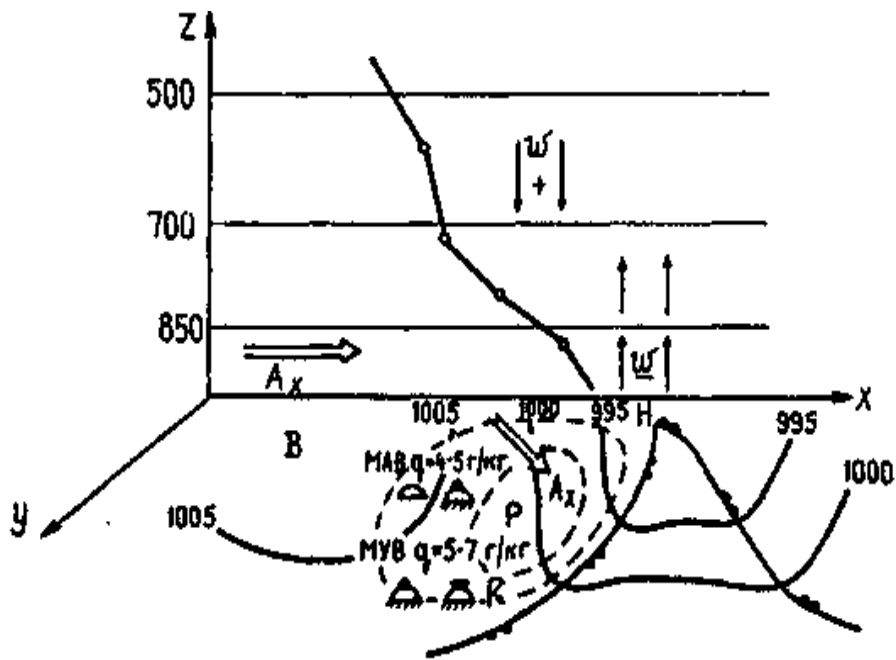


Рис. 4. Тыловая часть циклона

Заполняющаяся депрессия. Это малоподвижные циклоны, уже значительно заполнившиеся в нижних слоях, но хорошо выраженные в средней и верхней тропосфере.

Циклон заполняется настолько, что появляются разрывы в облачности, в утренние часы наблюдается малооблачная погода. Это приводит к быстрому прогреву воздуха. Поскольку верхние слои воздуха подготовлены для развития конвекции, то происходит интенсивное развитие Св. В то же время в результате прошедших в предыдущие дни обложных дождей поверхность почвы в области депрессии сильно увлажнена и становится источником непрерывного увлажнения атмосферы. Высокие значения массовой доли водяного пара q наблюдаются как у поверхности земли (7—12 г/кг), так и на высотах (на поверхности 700 гПа она достигает 3—6 г/кг, относительная влажность 60—80 %). В результате действия перечисленных факторов наступает продолжительный (до 5—7 суток) период ливневых дождей и гроз, охватывающих большие территории (рис. 5).

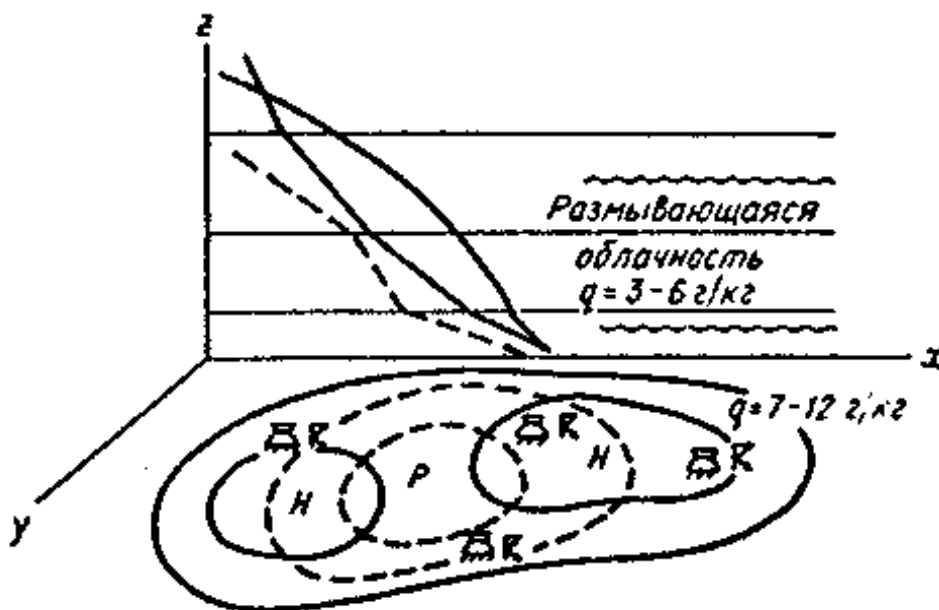


Рис. 5. Заполняющаяся депрессия

Тыловая (западная) часть антициклона. Характер погоды при данном синоптическом положении может быть самым различным. В одних случаях наблюдается сухая жаркая погода, в других — погода с ливнями и грозами над значительными территориями. Неодинаковый характер погоды объясняется различными воздушными массами, наблюдающимися летом при данной синоптической ситуации. Если по западной периферии антициклона происходит вынос с южных районов морского тропического воздуха (МТВ), то, как правило, летом над материком это теплая неустойчивая воздушная масса. Следует отметить, что данный тип воздушной массы также характерен и для теплого сектора циклона, где может наблюдаться развитие Сb, ливней и гроз.

Наиболее важными факторами, способствующими формированию неустойчивой стратификации и возникновению кучево-дождевой облачности, ливней и гроз, являются возрастание влажности воздуха как у земли, так и на высотах (относительная влажность 70—80 % или $D \leq 1-3 \text{ } ^\circ\text{C}$) и уменьшение адвекции теплого воздуха с высотой (рис. 6).

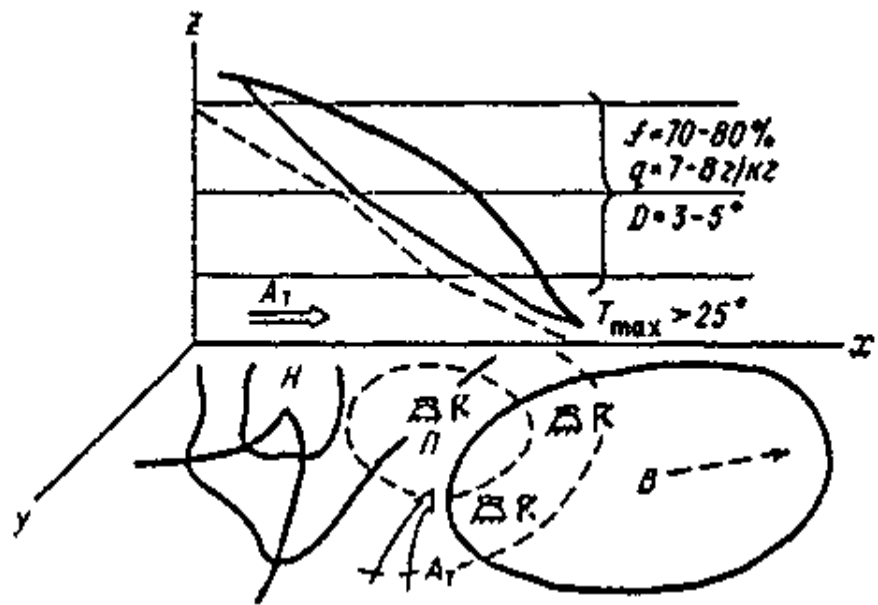


Рис. 6. Западная периферия антициклона

Ослабевающий антициклон. В ослабевающих антициклонах в большинстве случаев распределение ливней и гроз носит очаговый характер. Лишь иногда создаются условия, благоприятные для массового развития ливневых осадков и гроз. Особенностью ослабевающих летних антициклонов являются высокие температуры у земной поверхности, достигающие в дневные часы 30°C .

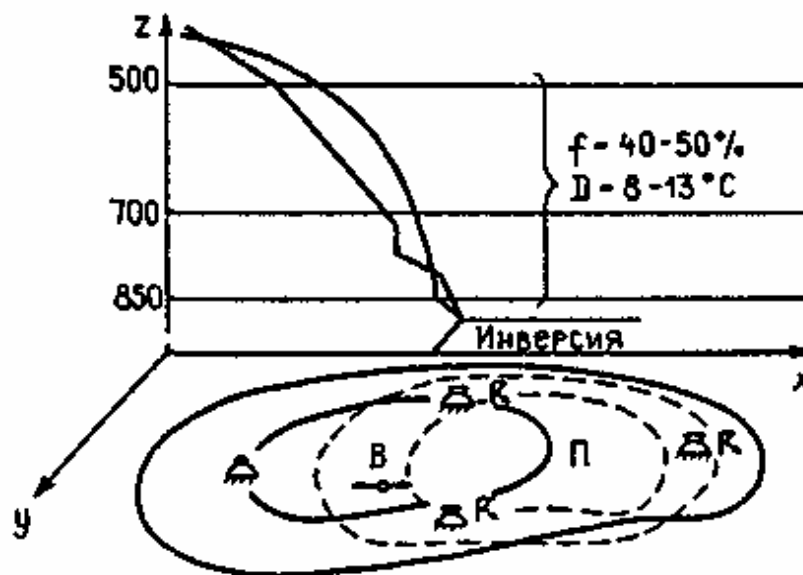


Рис. 7. Ослабевающий антициклон

Поэтому главным фактором, приводящим к развитию конвективных явлений, является значительное увеличение влажности у поверхности земли за счет испарения с подстилающей поверхности. Для образования Сб необходимо наличие высоких значений точки росы у поверхности земли — не ниже 14—16 °С (рис. 7).

Фронтальные кучево-дождевые облака обычно представляют собой не изолированные облака, а гряды, сосредоточенные вдоль линии фронта, и, как правило, являются более мощными, чем внутримассовые. Фронтальные ливни и грозы преимущественно связаны с холодными фронтами и фронтами окклюзии по типу холодного. На теплых фронтах и фронтах окклюзии по типу теплого ливни и грозы наблюдаются значительно реже. Это связано с различными условиями формирования конвекции в зоне теплых и холодных фронтов.

Конвективные явления в зоне холодных фронтов имеют хорошо выраженный суточный ход. В дневное время конвекция усиливается, достигая максимума в послеполуденные часы, а ночью затухает.

Условия формирования конвекции на холодных фронтах I и II рода различные. Если конвекция на холодном фронте I рода является затопленной, и ливневые осадки выпадают вместе с обложными или сменяются ими, то на холодном фронте II рода, вторичных холодных фронтах Сб развивается самостоятельно и сопровождается такими явлениями, как грозы и шквалы.

1.4. Параметры конвекции

1. **Стратификация атмосферы** характеризует энергию неустойчивости атмосферы. Увеличение энергии неустойчивости приводит к усилению восходящих конвективных потоков. Как правило, в качестве характеристики энергии неустойчивости используют:

а) наклон кривой стратификации ($T_{850} - T_{500}$, $T_{850} - T_{700}$ и т. д.);

б) сумму отклонений кривой состояния от кривой стратификации на n уровнях $\sum_{i=1}^n (T' - T)_i$ или среднее значение данных отклонений $\overline{(T' - T)}$;

в) значения отклонения кривой состояния от кривой стратификации на различных уровнях 700, 600 и 500 гПа $[(T' - T)_{700}, (T' - T)_{600}, (T' - T)_{500}]$.

2. Влагосодержание атмосферы. Обычно в качестве предикторов используют различные характеристики влагосодержания в нижней половине тропосферы:

а) дефициты точки росы на уровнях 700, 600, 500 гПа;

б) некоторые суммы этих дефицитов;

в) значения температуры точки росы на уровнях 850 и 700 гПа и на уровне конденсации.

Эти параметры определяют запасы энергии грозового облака, так как одним из основных источников энергии кучево-дождевого облака является высвободившаяся скрытая теплота конденсации и кристаллизации. Кроме того, характеристики влагосодержания тесно связаны с интенсивностью выпадающих осадков, которые, в свою очередь, определяют один из основных электрических зарядов Сб.

3. Вертикальная протяженность конвективных облаков. Этот параметр в сочетании с водностью и степенью оледенения вершин имеет высокую корреляцию с концентрацией заряженных частиц. Считается, что грозы развиваются в тех случаях, когда вертикальная протяженность облака составляет более 7 км. Объясняется этот факт тем, что области, в которых создаются и разделяются электрические заряды, занимают в кучево-дождевых облаках объем, ограниченный снизу изотермой $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и сверху изотермой $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Температура воздуха на уровне конвекции, высота верхней границы конвекции, мощность облака в зоне отрицательных температур. Они характеризуют фазовое состояние верхней части конвективных облаков, которое, в свою очередь, определяет разделение электри-

ческих зарядов (максимальные разности потенциалов наблюдаются между водяной и ледяной частями облака).

5. Лапласиан приземного давления $\nabla^2 p_0$ — один из синоптических параметров, имеющих наибольшую информативность. Он характеризует направление и интенсивность упорядоченных вертикальных движений в пограничном слое атмосферы, а они, в свою очередь, стимулируют развитие конвекции. При $\nabla^2 p_0 > 0$ (циклоническая кривизна приземных изобар и, следовательно, восходящие вертикальные движения) создаются благоприятные условия для развития кучево-дождевой облачности, ливней и гроз. Опасные конвективные явления не образуются, когда $\nabla^2 p_0 < 0$ (антициклоническая кривизна приземных изобар и, следовательно, нисходящие вертикальные движения).

6. Вертикальный сдвиг ветра. Влияние этого параметра неоднозначно. На развитие конвекции положительно влияет слабый или умеренный сдвиг ветра в нижних слоях тропосферы (до 1,5—3,0 км). В этом слое сдвиг ветра усиливает турбулентность, что приводит к формированию отдельных турбулентных вихрей, которые становятся зародышами конвективных облаков. Значительные сдвиги ветра в слое 3—10 км препятствуют образованию грозовых Сб, так как усиливают турбулентность, происходят снос и понижение верхней границы облака.

7. Температура эффективной кристаллизации — это температура, при которой образование ледяных кристаллов преобладает над их таянием и испарением. Этот параметр, так же как и температура на уровне конвекции, связан с возникновением больших электрических зарядов облака.

2. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КОНВЕКТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ПРОГНОЗ КОНВЕКТИВНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

2.1. Системы мелкой и глубокой конвекции

В статически неустойчивой атмосфере формируется широкий спектр мезомасштабных конвективных явлений. Конвекцию принято подразделять на мелкую и глубокую.

Системы мелкой конвекции

Системы мелкой конвекции развиваются в нижней части тропосферы. Они представлены облаками: кучевыми (Cu), мощно-кучевыми (Cu conq) и состоят из мелкомасштабных конвективных ячеек круглой или квазигексагональной формы или облачных гряд. Облачные гряды также называют облачными улицами или валами. Облачные ячейки бывают открытые и закрытые.

Открытая облачная ячейка — облачное скопление в виде кольца, состоящее из отдельных или совмещенных облаков конвективного происхождения. В центре такой ячейки наблюдаются нисходящие движения воздуха, а на периферии — восходящие. Поэтому внутри ячейки безоблачно. Открытые ячейки образуются в холодном воздухе, приходящем на теплую подстилающую поверхность.

Закрытая ячейка — облачное скопление гексагональной (квазишестиугольной) формы, окруженное узким безоблачным пространством. Внутри такой ячейки наблюдаются восходящие движения, а на периферии — нисходящие. Закрытые ячейки образуются в теплом воздухе, приходящем на холодную подстилающую поверхность. В данном случае неустойчи-

вость генерируется охлаждением сверху, в результате излучения и испарения облачных элементов с верхней границы облаков.

Облачная гряда (улица) — облачное скопление в виде выстроившихся в линию облаков. Часть из них соединена друг с другом, а часть наблюдается в виде отдельных облаков. Как правило, одновременно существует несколько гряд, отделенных одна от другой безоблачными пространствами шириной от единиц до десятков километров. Гряды облаков и открытые конвективные ячейки характерны для холодных вторжений в тылу циклона или высотной ложбины.

Характеристики мезометеорологических объектов мелкой конвекции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Некоторые характеристики систем мелкой конвекции

Характеристика	Ячейки		Гряды
	открытые	закрытые	
Горизонтальный размер ячеек, км	10—100	10—100	—
Толщина неустойчиво-стратифицированного слоя, км	1—3	1—2,5	1—3
Вертикальный градиент температуры в неустойчиво-стратифицированном слое, γ , °C/100 м	0,83	0,80	0,90
Толщина поверхностного надоблачного слоя, км	0,5	0,8	0,9
Вертикальный градиент температуры в инверсионном надоблачном слое, γ , °C/100 м	—0,15	—1,16	—0,36
Расстояние между осями гряд, км	—	—	6—15

Системы глубокой конвекции

Системы глубокой конвекции развиваются в слоях большой вертикальной мощности и могут занимать всю толщу тропосферы.

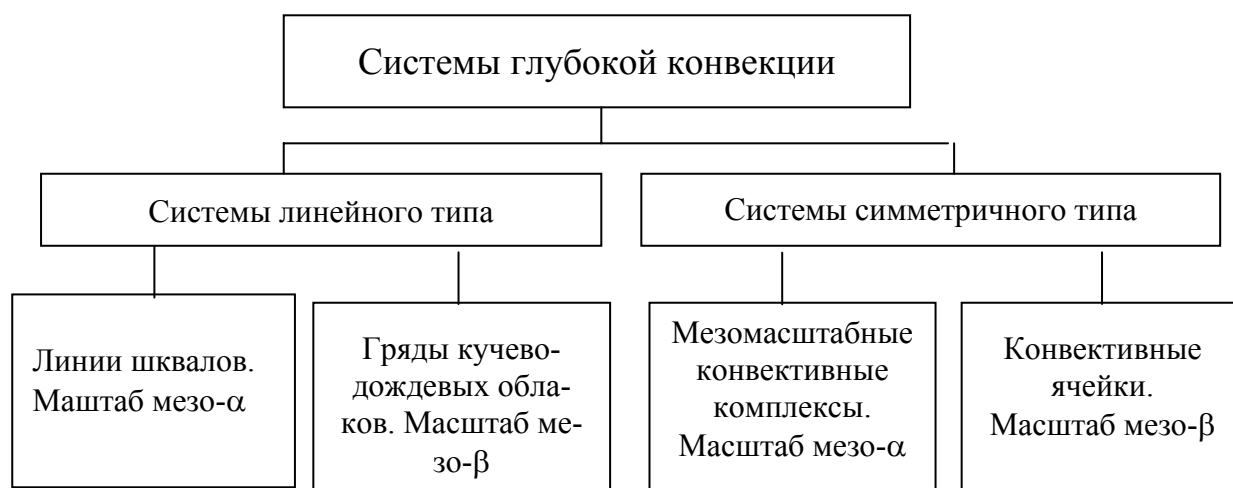


Рис. 8. Классификация Мэддокса систем глубокой конвекции

Мезометеорологические объекты, представляющие системы глубокой конвекции детально классифицированы Мэддоксом (рис. 8).

Линии шквалов (неустойчивости)

Линии шквалов (неустойчивости) представляют собой сплошной вал либо гряду кучево-дождевых облаков, разделенных безоблачными промежутками. С линиями шквалов связаны грозы и шквалы, иногда град. Если наблюдается только грозовая деятельность и ливневые осадки, без шквалов, то говорят о линиях неустойчивости. Наиболее интенсивное развитие линий шквалов отмечается в послеполуденные часы.

Продолжительность существования линий шквалов (неустойчивости) составляет от нескольких десятков минут до нескольких часов. После исчезновения первичной линии шквалов может появиться вторичная.

Гряды кучево-дождевых облаков масштаба мезо-β

Эти гряды также называют мезомасштабными грядами. Они существенно меньше линий шквалов. Мезомасштабные гряды имеют длину от 10 до 100 км и ширину от 1 до 30 км.

Они состоят из отдельных кучево-дождевых облаков, которые развиваются вдоль некоторой линии. С мезомасштабными грядами связаны ливневые осадки, грозы и шквалы, но преимущественно наблюдаются только ливневые осадки продолжительностью от нескольких минут до нескольких десятков минут.

Мезомасштабные гряды возникают в неустойчивой воздушной массе при циклонической циркуляции вдоль линий конвергенции воздушных потоков в пограничном слое атмосферы. Наиболее благоприятная синоптическая обстановка для появления этих гряд — барическая ложбина. Одновременно может существовать несколько линий конвергенции и в каждой из них может образоваться мезомасштабная гряда кучево-дождевых облаков.

Мезомасштабные конвективные комплексы

Мезомасштабные конвективные комплексы представляют собой скопление кучево-дождевых облаков овальной формы с безоблачным пространством в центральной части. Мезомасштабные конвективные комплексы в среднем существуют 12—16 часов. С ними могут быть связаны интенсивные ливни, грозы, шквалы, град, порывы ветра со скоростью более 30 м/с и даже смерчи.

Мезомасштабные конвективные комплексы могут давать начало развитию новых кучево-дождевых облаков и их скоплений. В ряде случаев они инициируют развитие мезоциклона, создавая в своем районе циклоническую циркуляцию.

Конвективные ячейки масштаба мезо-β

Мезоскопления кучево-дождевой облачности масштаба мезо-β часто имеют квазикруговую форму. По размеру они меньше, чем мезомасштаб-

ные конвективные комплексы. Радиус мезоскопления составляет десятки километров. Продолжительность существования до 3 часов. Однако скопление, исчезая, может дать начало жизни другому, тем самым увеличивая продолжительность своей жизни. Мезоскопления часто имеют ячейковую структуру. Обычно это открытая ячейка, состоящая из отдельных кучево-дождевых облаков. Конвективные ячейки масштаба мезо-β обычно предшествуют появлению мезомасштабных конвективных комплексов.

В целом системы глубокой конвекции обуславливают возникновение и развитие наиболее опасных явлений погоды.

2.2. Условия образования и прогноз конвективной облачности

Разработка прогноза внутримассовой конвективной облачности осуществляется на основе моделей конвекции при благоприятных аэросиноптических и метеорологических условиях, описанных в разделах 1.3 и 1.4.

Прогноз конвективной облачности и разрабатывается в следующем порядке.

На первом этапе производится анализ развития синоптического процесса и разрабатывается прогноз синоптического положения.

На втором этапе, если синоптическая обстановка благоприятная для развития конвекции, используются физико-статистические методы для прогноза конвективной облачности.

В прогнозе указываются количество, форма, высота нижней и верхней границ облачности. В процессе такого прогноза целесообразно использовать данные МРЛ – метеорологических радиолокаторов.

Прогноз количества конвективной облачности

Метод М.Г. Приходько. Разработан для центральных районов европейской территории России на основании данных радиозондирования ат-

мосферы в утренние часы (03 ч мск). На первом этапе определяется коэффициент стратификации:

$$K_{стр} = \frac{0,3\Delta T\bar{R}}{(T - T_d) + (1 - \bar{\gamma})}, \quad (3)$$

где

$\Delta T = T_{\max} - T_0$ — разность температур воздуха ($^{\circ}\text{C}$) между ожидаемым максимальным значением у поверхности земли днем и ее значением в момент утреннего зондирования;

\bar{R} — среднее значение относительной влажности воздуха (%) в момент зондирования в слое от верхней границы приземной инверсии до 3 км;

$\overline{(T - T_d)}$ — средняя разность между значениями температуры и точки росы ($^{\circ}\text{C}$) по данным утреннего зондирования в слоях от земли до 200 м, если у поверхности земли $1^{\circ}\text{C} < (T - T_d) < 4^{\circ}\text{C}$, и от земли до 500 м в остальных случаях;

$\bar{\gamma}$ — средний вертикальный градиент температуры воздуха ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ м}$) в слое от верхней границы приземной инверсии до 3 км.

Статистическая связь между количеством конвективной облачности N_k и значением коэффициента стратификации $K_{стр}$ характеризуется графиком (рис. 9).

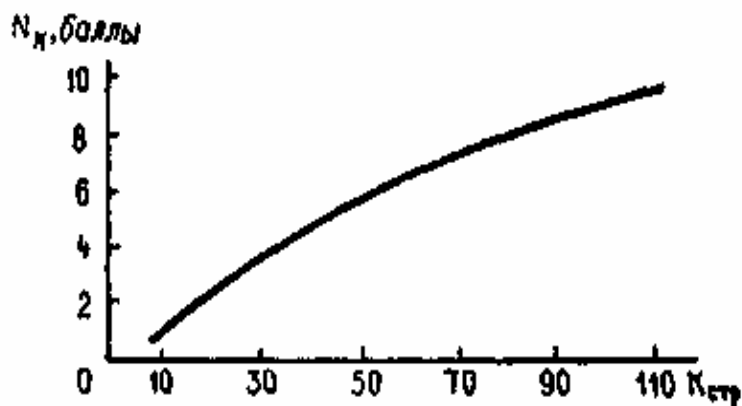


Рис. 9. График связи между величинами N_k и $K_{стр}$ для района Москвы

Для прогноза количества конвективных облаков рекомендуется также использовать следующую формулу:

$$N_{\kappa} = 10 \cdot \frac{T_{b850} - T_{850}}{T_{b850} - T_{c850}}, \quad (4)$$

где T_{b850} и T_{c850} — температура на уровне 850 гПа, отсчитанная соответственно по влажной и сухой адиабатам, проходящим через точку с максимальной (прогностической) температурой воздуха у земли.

Прогноз формы конвективной облачности

Прогноз формы конвективной облачности производится на основе:

— анализа и прогноза синоптического положения в данном районе и определения, насколько ожидаемые синоптические условия благоприятны для развития конвективной облачности;

— анализа аэрологической диаграммы и определения степени неустойчивости атмосферы, особенностей распределения характеристик влажности воздуха в пограничном слое и в свободной атмосфере.

Проведенный анализ позволяет качественно определить интенсивность и динамику развития конвективной облачности. Необходимо учитывать, что при внутримассовой синоптической обстановке в утренние часы развивается кучевая облачность, которая постепенно перерастает в кучевую мощную. При достаточной влажности воздуха и энергии неустойчивости атмосферы кучевая мощная облачность в послеполуденные часы развивается в кучево-дождевую.

Прогноз высоты нижней и верхней границ конвективной облачности

Высота нижней границы конвективной облачности располагается на уровне конденсации $Z_{\text{конд}}$ а высота верхней границы вблизи уровня конвекции $Z_{\text{конв}}$. Взяв за основу соответствующую модель конвекции и используя аэрологи-

ческую диаграмму, можно с достаточной степенью точности установить нижнюю и верхнюю границы облачности.

На основе значений температуры и влажности воздуха у поверхности земли прогноз высоты нижней границы конвективной облачности H_k производится также с помощью формул:

$$\text{Слезневой} \quad H_n = 200 + 110(T_{max} - T_d), \quad (5)$$

$$\text{Ферреля} \quad H_n = 122(T_{max} - T_d), \quad (6)$$

$$\text{Ипполитова} \quad H_n = 22(100 - R), \quad (7)$$

где T_d и R — значения точки росы и относительной влажности (в процентах) у поверхности земли.

3. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОГНОЗ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ И ГРАДА

К ливневым осадкам относятся осадки большой интенсивности, но малой продолжительности, выпадающие из кучево-дождевых облаков как в капельно-жидком, так и в твердом виде. Это ливневый дождь, град, снегопад, снежная крупа. Они характерны для влажных неустойчивых воздушных масс, холодных фронтов II рода, холодных фронтов окклюзии и реже — для теплых фронтов.

Ливневые осадки часто сопровождаются грозой, усилением ветра с порывами до 20 м/с и шквалами. Над материками они типичны летом, а над морями и океанами — зимой.

3.1. Физические условия образования, характеристика и прогноз ливневых осадков

В зависимости от *синоптического положения* ливневые осадки подразделяются на ***внутримассовые и фронтальные***. Благоприятные синоптические ситуации, при которых развиваются конвективные облака и выпадают ливневые осадки, рассмотрены в разделе 1.3.

Внутримассовые ливневые осадки наиболее подвержены местным влияниям и имеют большой суточный ход. Они могут прекращаться вечером (над сушей) и возобновляться на следующий день, если неустойчивость и влагосодержание воздушной массы сохраняются.

Фронтальные ливневые осадки связаны с кучево-дождевыми облаками в виде гряд, сосредоточенных вдоль линии фронта, и, как правило, являются более интенсивные и продолжительные, чем внутримассовые. *Ливневые осадки в зоне холодных фронтов I рода и теплых фронтов* чаще всего выпадают вместе с обложными. В этих случаях облака Сb скрыты от наземного наблюдателя слоисто-дождевой и высокослоистой (Ns—As) облачностью.

Для анализа и прогноза ливневых осадков на атмосферных фронтах необходимо использовать данные метеорологических радиолокаторов (МРЛ). Повторяемость и интенсивность фронтальных ливневых осадков в значительной степени зависят от местных физико-географических условий и времени суток. Так, с наветренной стороны возвышенностей и гор вероятность ливневых осадков всегда больше и они интенсивнее, чем с подветренной стороны. *На теплых фронтах и теплых фронтах окклюзии* ливневые осадки чаще выпадают ночью и в утренние часы, а *на холодных* — в дневное время.

Для прогноза ливневых осадков используются методы, разработанные для различных физико-географических районов. В большинстве слу-

чаев прогноз ливневых осадков осуществляется совместно с прогнозом грозы. Рассмотрим некоторые методы прогноза ливневых осадков в теплый период года.

Метод А.Ф. Заводченкова предназначен для прогноза ливневых осадков применительно к территории Урала. Для этого построена номограмма (рис. 10), которая состоит из трех частей, соединенных воедино (квадраты А, Б, В). На оси абсцисс влево откладывается температура воздуха на поверхности АТ-850 гПа T_{850} , справа — величина индекса осадкообразования k . По оси ординат вверх наносится величина ΔH , которая характеризует вертикальную мощность облаков.

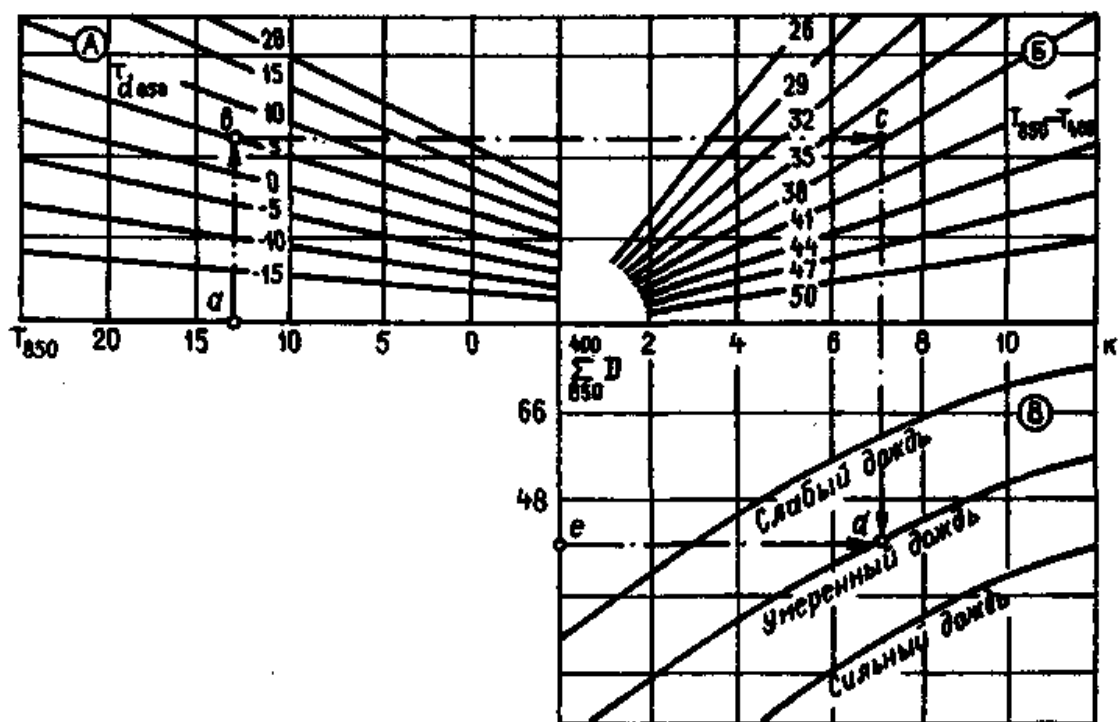


Рис. 10. Номограмма для прогноза интенсивности ливневых осадков

По оси ординат вниз откладывается суммарный дефицит точки росы на поверхностях 850, 700, 500 и 400 гПа ($\sum_{850}^{400} D$). Он характеризует влагосодержание в слое 1,5—7,0 км.

Наклонными линиями в квадратах А и Б соответственно представлены значения температуры точки росы на поверхности 850 гПа $T_{d_{850}}$ и разность температур на поверхностях 850 и 400 гПа $T_{850} - T_{400}$. Эти величины характеризуют температуру, при которой воздух достигает состояния насыщения на поверхности 850 гПа и стратификацию атмосферы в слое 850—400 гПа. В квадрате В кривые разграничивают зоны с ливневыми осадками разной интенсивности.

Прогноз ливневых осадков указанным методом разрабатывается с заблаговременностью 12—24 ч. Для этого необходимо:

1. По фактическим и прогностическим картам погоды построить траектории перемещения воздушных частиц в район прогноза.

2. В начальной точке траектории определить значения исходных данных для номограммы T_{850} , $T_{d_{850}}$, $T_{850} - T_{400}$, $\sum_{850}^{400} D$.

3. С помощью номограммы (рис. 10) определить интенсивность ливневых осадков. Порядок расчета ливневых осадков показан на номограмме пунктирной линией со стрелками.

Метод Н.И. Глушковой предназначен для разработки прогноза ливневых осадков на европейской территории России *по данным метеорологических искусственных спутников Земли (МИСЗ) и радиолокационных наблюдений*.

Данные наблюдений сети МРЛ используются для диагноза и прогноза вида и интенсивности конвективных явлений в облачных системах. Интенсивность явления определяется по значению высоты верхней границы радиоэха H_e и максимальной радиолокационной отражаемости $\lg Z_m$.

Комплексное использование спутниковой и радиолокационной информации дает представление о горизонтальных размерах зон облачности, осадков, об их вертикальных размерах и водности облаков.

Тип облачной системы и ее линейные размеры определяют интенсивность и продолжительность выпадения осадков. Поэтому все рассматриваемые на снимках с МИСЗ облачные системы с осадками разделяются на следующие типы:

1) системы изолированных конвективных облаков с линейными размерами $L < 150$ км, связанные с внутримассовыми процессами;

2) облачные системы в виде полосы с линейными размерами $L < 250$ км, связанные с фронтом;

3) конвективные облака на вторичных фронтах и скопление Cb с линейными размерами $150 \text{ км} \leq L < 400 \text{ км}$;

4) скопление кучево-дождевых облаков с линейными размерами $L \geq 400$ км, связанное с начальной стадией развития циклона;

5) облачный вихрь циклона с линейными размерами $L \geq 400$ км или конвергенция облачности.

Для расчета **количества осадков (Q , мм)**, выпадающих из кучево-дождевых облаков, автором способа получено следующее уравнение:

$$Q = 0,087 \cdot \lambda H_g^2, \quad (8)$$

где λ — порядковый номер типа облачной системы, к которой относится полученная на снимке с МИСЗ облачность;

H_g — высота верхней границы кучево-дождевых облаков, км.

Для кучево-дождевых облаков, развивающихся на фоне слоисто-дождевых облаков:

$$Q = 0,043 \cdot \lambda H_{в.сл.}^2, \quad (9)$$

где $H_{в.сл.}$ — высота верхней границы слоисто-дождевых облаков.

При использовании данных наблюдений МРЛ за кучево-дождевой облачностью формула для расчета количества ливневых осадков имеет следующий вид:

$$Q = 0,242 \cdot 10^{-6} \lambda H_g \lg Z_m, \quad (10)$$

где H_g — высота верхней границы радиоэха, км;

Z_m — максимальная радиолокационная отражаемость.

Для определения *времени начала ливневых осадков* t_n используется формула:

$$t_n = t_0 + L_1/V, \quad (11)$$

где t_0 — срок наблюдения за облачностью метеорологическим радиолокатором;

L_1 — расстояние от пункта прогноза до переднего края системы радиоэха конвективных облаков, движущейся к пункту прогноза;

V — скорость перемещения зоны облачности.

Скорость перемещения может определяться экстраполяционными методами и с помощью карт барической топографии. При максимальной высоте верхней границы радиоэха H_g 9—11 км скорость V равна средней скорости ветра в слое 700—300 гПа (3—9 км) вдоль траектории переноса конвективной облачности.

Продолжительность выпадения осадков Δt в пункте прогноза рассчитывается по формуле:

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{V}, \quad (12)$$

где ΔL — ширина зоны осадков по данным МРЛ в направлении перемещения облака на пункт прогноза, км.

3.2. Условия образования и прогноз града

Прогноз града тесно связан с прогнозом ливневых осадков. Выпадение града наблюдается при прохождении *холодных фронтов с волнами, характеризующимися большими контрастами температуры, вторичных холодных фронтов и хорошо выраженных холодных фронтов окклюзии.*

Вероятность выпадения града увеличивается, если на карте АТ-850 гПа (1,5 км) — адвекция тепла, а на карте АТ-500 гПа (5,5 км) наблюдается адвекция холода.

Экспериментальные данные позволили установить, что в кучево-дождевом облаке наблюдается нарастание вертикальной составляющей скорости воздушного потока с высотой и эта скорость достигает максимального значения в средней части облака. При таком распределении скорости восходящего потока в конвективном облаке создаются условия для образования зоны, в которой наблюдается накопление твердых и жидких крупнокапельных частиц. Эта зона называется зоной аккумуляции. Располагается она над уровнем, где скорость конвективного потока достигает максимального значения.

Градины растут в зоне аккумуляции лишь в том случае, когда эта зона располагается выше изотермы $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Рост градин зависит от температуры окружающего воздуха и влажности облака в зоне аккумуляции. При максимальной скорости конвективного потока w_{max} , превышающей 10 м/с, восходящий поток может поддерживать градину радиусом $R = 5$ мм.

Возможность выпадения града на поверхность земли зависит от размера градин на уровне $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Град начинает выпадать из облака, когда скорость установившегося падения градин станет равной или больше максимальной скорости конвективного потока в облаке ($w_R \geq w_{max}$).

Метод Н.М. Глушковой предназначен для прогноза града на текущий день в центре европейской части России и позволяет предусмотреть не только выпадение града, но и размер градин у поверхности земли.

По данным радиозондирования атмосферы определяются параметры:

p_1 — давление на уровне конденсации;

p_2 — давление на уровне верхней границы влажнонеустойчивого слоя, в котором $\gamma \geq \gamma_{sa}$;

$\Delta T_{w_{max}}$ — отклонение кривой состояния от кривой стратификации на уровне максимальной вертикальной скорости конвективного потока;

$T_{w_{max}}$ — температура на этом же уровне на кривой состояния;

H_{0° — высота уровня изотермы 0°C .

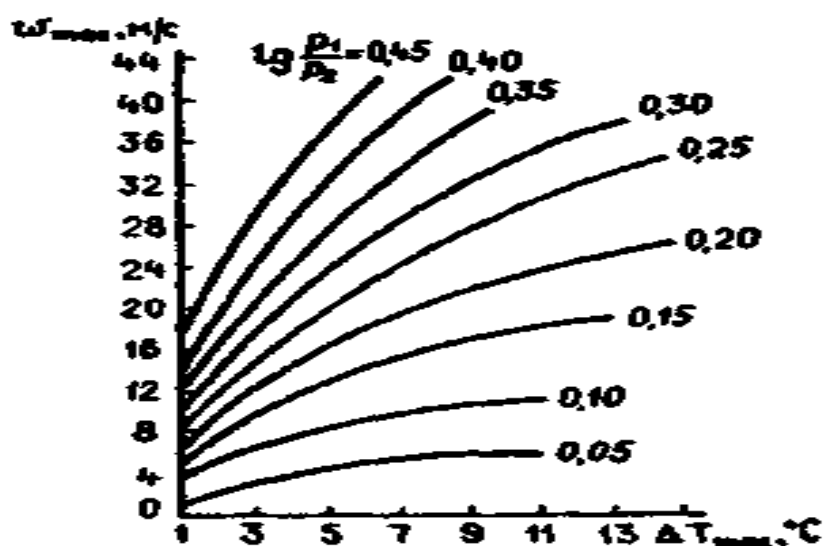


Рис. 12. График для определения максимальной скорости конвективного потока w_{max} в облаках

По значениям p_1 и p_2 определяется величина $\lg p_1/p_2$ и затем по значениям $\Delta T_{w_{max}}$ и $\lg p_1/p_2$ на графике (рис. 12) определяется максимальная скорость конвективного потока в облаке w_{max} . Далее по значениям w_{max} и $T_{w_{max}}$ с помощью графика (рис. 13) прогнозируется возможность

образования града в облаке. Размер выпадающих градин определяется по значениям w_{max} и H_{0° на другом графике (рис. 14).

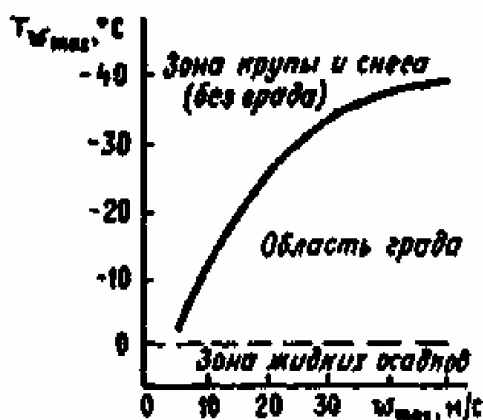


Рис. 13. Определение возможности образования града в зависимости от максимальной скорости восходящего потока w_{max} и температуры воздуха $T_{w_{max}}$ на этом уровне

Выпадение града следует предусмотреть в прогнозе также в случаях, когда $H_{0^\circ} < 2,5$ км, а точка, определяемая координатами w_{max} и $T_{w_{max}}$, на графике (рис. 13) оказывается в зоне крупы и снега.

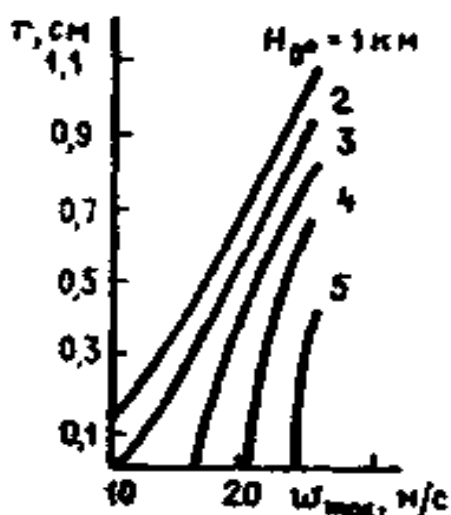


Рис. 14. График для определения размера градин с учетом таяния

3.3. Методы борьбы с градобитием

Практическое значение получил в нашей стране и в некоторых странах за рубежом *метод искусственного воздействия на градовые кучево-дождевые облака*, служащие источником опасных для народного хозяйства градобитий.

Метод основан на введении в зону накопления переохлажденных капель большого количества искусственных ядер кристаллизации йодистого серебра (AgI). Ядра начинают конкурировать с небольшим числом естественных зародышей, на которых образуются крупные градины в отсутствие искусственного воздействия, т. е. при естественном процессе образовании града.

Искусственное увеличение ядер кристаллизации приводит к тому, что содержащийся в облаке запас переохлажденной воды рассредоточивается среди большого числа ледяных зародышей. В результате образуется много мелких градин вместо небольшого числа крупных. Осадки из такого градового облака выпадают в виде ливневого дождя или мелкого града, а не в виде крупных градин.

Для слежения за градовыми облаками используется специальная радиолокационная техника (МРЛ) и техника введения кристаллизующего реагента в облако путем его обстрела специальными ракетами или снарядами (пушки системы «Алазань»). Они применяются в основном в районах ценных виноградных плантаций. При обнаружении метеорологическими радиолокаторами градовых кучево-дождевых облаков на подходе к виноградникам пушки выстреливают в облака кристаллизующий реагент. В результате град и ливневой дождь выпадают, не доходя до виноградных плантаций, облака разрушаются.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОГНОЗ ГРОЗ

Гроза представляет собой комплексное явление образования и развития кучево-дождевого облака, которое сопровождается многократными электрическими разрядами в виде молний и звуковым эффектом, называемым громом.

4.1. Характеристика и классификация гроз

Возникновение гроз тесно связано с развитием конвективной облачности, в которой наблюдаются интенсивные вертикальные движения, обуславливающие наличие интенсивных зон турбулентности и образование крупных ледяных кристаллов.

Типичное развитие кучево-дождевых облаков и выпадение из них осадков связано с мощными проявлениями атмосферного электричества, а именно с многократными электрическими разрядами в облаках или между облаками и Землей. Гроза часто сопровождается еще и кратковременными усилениями ветра – *шквалам*.

По синоптическим условиям образования грозы делятся на *внутри-массовые и фронтальные*.

Внутримассовые грозы наблюдаются двух типов: *в холодных воздушных массах, перемещающихся на теплую земную поверхность, и над прогретой сушей летом.*

К первому типу относятся *тыловая часть циклона и заполняющаяся депрессия*. Ко второму типу относятся *разрушающийся антициклон, а также западная периферия антициклона и теплый сектор циклона*, когда в их области происходит адвекция теплого, влажного, неустойчивого морского тропического воздуха. Во всех случаях возникновение грозы связано

с мощным развитием конвективных облаков, вызванным сильной неустойчивостью атмосферы.

Наиболее часто **фронтальные грозы** возникают на холодном фронте 2-го рода. Это очень быстро перемещающийся фронт, в зоне которого восходящее движение теплого воздуха сосредоточено в более узком пространстве у передней части фронтальной поверхности и имеет характер мощного восходящего конвективного потока (рис. 15).

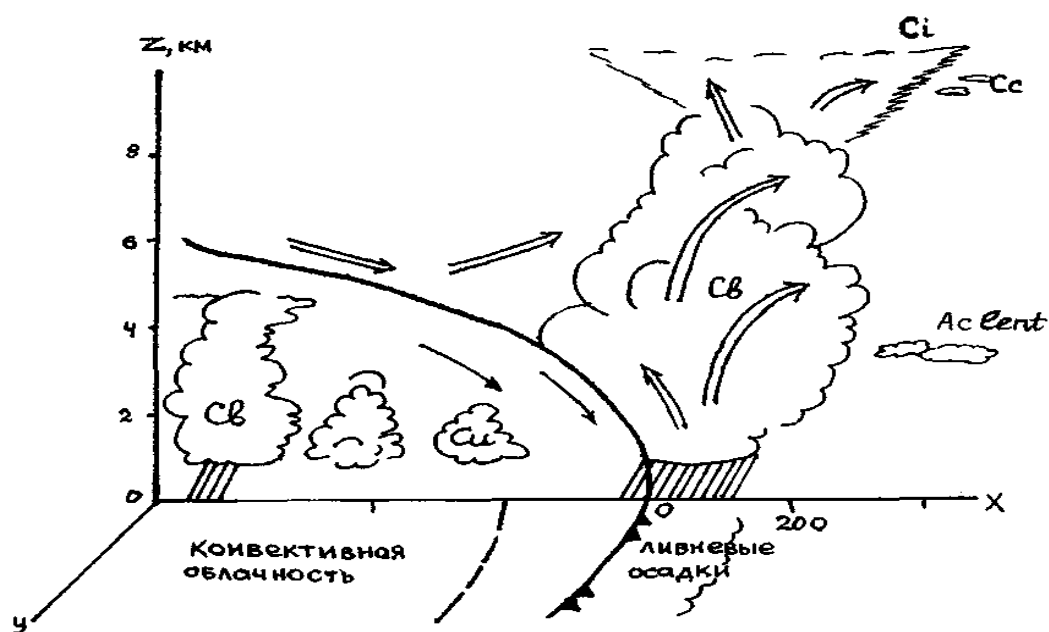


Рис. 15. Облачная система и осадки холодного фронта 2-го рода

Основную массу облаков холодного фронта 2-го рода составляют кучево-дождевые (*Cb*) и мощно-кучевые облака (*Cu cong*), которые имеют ширину от нескольких десятков до 100 км. Кроме основного массива *Cb* на фронте наблюдаются высоко-слоистые (*As*), высоко-кучевые (*Ac*), перистые (*Ci*) облака. Предвестниками грозового холодного фронта 2-го рода являются высоко-кучевые линзобразные (*Ac lent*) и перисто-кучевые (*Cc*) облака, которые появляются на расстоянии 200 км от линии фронта.

Осадки, выпадающие на холодном фронте 2-го рода, имеют ливневый характер. Ширина зоны осадков 50—100 км и выпадают они, в ос-

новном, перед линией фронта. Летом вершины *C_v* на холодном фронте 2-го рода часто достигают тропопаузы.

В ночное время грозы могут возникать и на *теплых фронтах*, а также на *теплых фронтах окклюзии*.

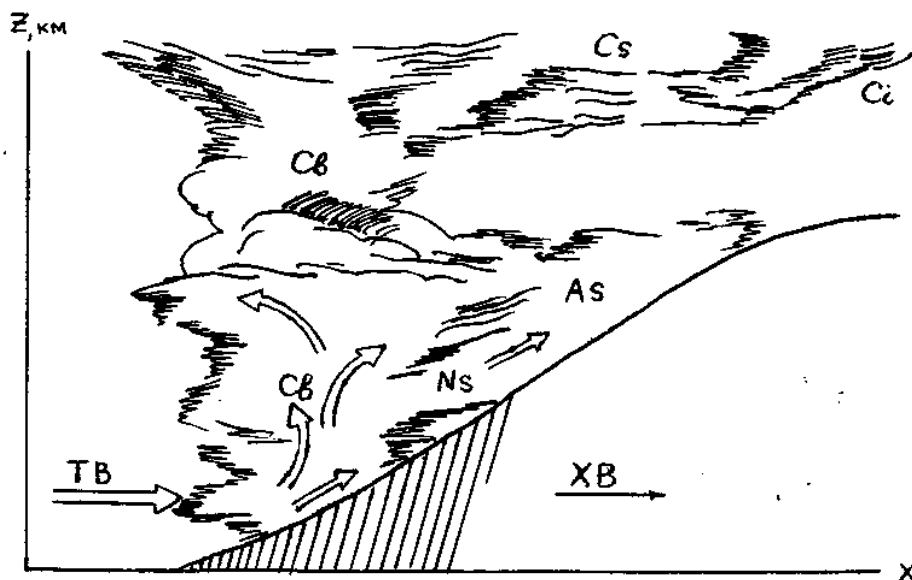


Рис. 16. Теплый фронт с затопленными конвективными зонами

Продолжительность грозы в каждом отдельном месте различна: от нескольких минут до нескольких часов. Число молний при сильной грозе составляет десятки в минуту.

Наибольшая повторяемость гроз отмечается в *тропической зоне*. Там есть районы, где грозы наблюдаются 100—150 дней в году. В *умеренных широтах* над сушей повторяемость гроз составляет 10—30 дней в году. Здесь они наблюдаются в теплый период года и очень редко зимой. В горах грозы наблюдаются чаще, чем на равнинах.

В среднем на земном шаре одновременно происходит 1800 гроз и возникает примерно 100 молний каждую секунду.

Ежегодно в результате поражения молниями на земном шаре погибает 1550—2000 человек. В г. Воронеже 13 мая 2008 г. в результате грозо-

вой деятельности и разряда молнии пострадало 11 студентов, которые укрывались от дождя под большим деревом.

4.2. Физическая сущность и алгоритмы прогноза гроз

Метод Вайтинга. Наиболее известный и простой способ прогноза грозы на день, разработанный в США. Он основан на расчете индекса грозовой активности K , определяемого по формуле:

$$K = T_{850} - T_{500} + T_{d850} - (T - T_d)_{700}, \quad (13)$$

Расчет по формуле (13) проводится по данным утреннего радиозондирования атмосферы.

Разность $T_{850} - T_{500}$ характеризует наклон кривой стратификации и соответственно неустойчивость атмосферы. Чем больше эта разность, тем больше будет энергия неустойчивости, и тем выше будет располагаться уровень конвекции (верхняя граница конвективного облака). Точка росы на поверхности АТ-850 гПа T_{d850} характеризует положение кривой состояния. Чем больше ее значение при прочих равных условиях, тем правее должна лежать облачная адиабата, и тем выше должен быть уровень конвекции. Дефицит точки росы на уровне АТ-700 гПа D_{700} характеризует близость к состоянию насыщения воздуха в средней тропосфере. Таким образом, можно сделать вывод, что увеличение показателя K должно приводить к возрастанию вероятности появления грозы.

Грозы прогнозируются в тех районах, где $K > 25$.

Метод Лебедевой рекомендован Росгидрометцентром в качестве основного оперативного способа прогноза гроз для центральных районов ев-

ропейской территории России. В основе данного способа лежит модель частицы.

Для прогноза грозы рассчитываются следующие параметры конвекции:

1. Суммарный дефицит точки росы на основных изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа: $\sum_{850}^{500} (T - T_d)$. Этот параметр учитывает

близость к состоянию насыщения водяным паром нижнего слоя тропосферы.

2. Дефицит точки росы у поверхности земли при прогнозируемых максимальных значениях температуры и точки росы $(T_{\max} - T_d)_3$.

Этот параметр характеризует положение уровня конденсации.

3. Дефицит точки росы $(T - T_d)_h$ на высоте h — нижней границе лежащего выше поверхности 850 гПа ненасыщенного слоя воздуха толщиной не менее 100 гПа, имеющего неустойчивую стратификацию.

4. Толщина конвективно-неустойчивого слоя $\Delta H_{\text{кнс}}$ в гПа. Чем больше конвективно-неустойчивый слой, тем больше вероятность образования конвективных облаков, ливневых осадков и гроз.

5. Высота уровня конденсации $\bar{H}_{\text{конд}}$ в км.

6. Высота уровня конвекции $\bar{H}_{\text{конв}}$ в км.

7. Температура воздуха уровне конвекции $T_{\text{конв}}$. Чем ниже эта температура, тем вероятнее ливни и грозы.

8. Средняя величина отклонения кривой состояния от кривой стратификации $\overline{\Delta T}$.

9. Средняя вертикальная мощность конвективных облаков $\overline{\Delta H}_{\text{к.о.}}$ в километрах. Определяется как разность между средним уровнем конвекции и средним уровнем конденсации.

*Критические значения параметров конвекции, при которых
вероятно развитие конвективных явлений*

$\sum_{850}^{500} (T - T_d)$	$(T_{\max} - T_d)_3$	$\Delta H_{\text{кнс}}$	$\bar{H}_{\text{конд}}$ или $H_{\text{нгкс}}$	$\bar{H}_{\text{конв}}$ или $H_{\text{конв}}$	$T_{\text{конв}}$	$\Delta \bar{T} = \frac{\sum^n (T - T_d)}{n}$	$\bar{h}_{\text{св}}$ или $h_{\text{св}}$	Конвек- тивные явления
> 25	> 20	—	—	—	—	—	—	Развитие конвек- ции не ожидается
≤ 25	≤ 16	> 10	~ 1.5	≥ 6	< -22.5	> 4	~ 4.5	Слабый ливневой дождь, возможна гроза или сухая гроза
≤ 20	≤ 14 (≤ 6)	> 20	~ 1.5	> 5	22.5 < T < -10	≥ 3 (> 1)	> 3.5	Ливневой дождь без грозы
≤ 20	≤ 14	> 30	~ 1.5	≥ 8	< -22.5	≥ 3	> 6.5	Ливневой дождь, местами грозы
< 16	~ 10	> 60– 100	1.5 > $h > 1$	> 8	< -22.5	≥ 3	≥ 7.5	Сильный ливневой дождь и гроза
~ 16	~ 10	—	1.5 > $h > 1$	> 8	< -22.5	≥ 3, но $\Delta T_{\max} > 4$	≥ 7.5	Грозы

После расчета указанных выше параметров конвекции по табл. 2 разрабатывается прогноз ливневого дождя и грозы.

Метод Б.Б. Пескова применяется при разработке прогноза грозы на текущий день в центральной части европейской территории России. Предикторы, используемые в данном способе, определяются по прогностическим кривым стратификации температуры и точки росы (модель частицы), а также прогностическому полю приземного давления.

Расчет дискриминантной функции производится по формуле:

$$U = 0.4(T' - T)_{600} - 0.05(T - T_d)_{500} + 0.4\nabla^2 p_0 - 0.07|\Delta\vec{V}|_{700}^{300}, \quad (14)$$

где $(T' - T)_{600}$ — отклонение кривой состояния от кривой стратификации на уровне АТ- 600 гПа;

$(T - T_d)_{500}$ — дефицит точки росы на уровне АТ-500 гПа;

$\nabla^2 p_0$ — лапласиан приземного давления, характеризующий приземную конвергенцию потоков, рассчитывается по восьми точкам, удаленным от центральной точки на 250 км:

$$\nabla^2 p_0 = \frac{1}{2}(p_1 + p_2 + \dots + p_8 - 8p_0), \quad (15)$$

где p_0 — давление в центральной точке, совпадающей с пунктом, по которому дается прогноз;

$|\Delta\vec{V}|_{700}^{300}$ — модуль векторной разности скорости ветра в метрах в секунду на поверхностях АТ-700 и АТ-300 гПа.

Гроза прогнозируется, если функция (15) не отрицательная.

5. ФИЗИЧЕСКИЕ, АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОГНОЗ ШКВАЛОВ

Шквал — кратковременное увеличение скорости ветра до значений, намного превышающих скорость градиентного ветра. Он представляет собой одно из проявлений интенсивной конвективной деятельности.

Шквалы являются особо опасными явлениями погоды. Во-первых, они связаны с кучево-дождевой облачностью. Во-вторых, шквалы сопро-

вождаются интенсивными ливневыми осадками и градом. Скорость ветра при шквале достигает разрушительной силы.

Классификация шквалов по скорости ветра:

- ◆ *слабые шквалы — при скорости ветра 20 м/с;*
- ◆ *умеренные шквалы — при скорости ветра 20—25 м/с;*
- ◆ *сильные шквалы — при скорости ветра 25—30 м/с;*
- ◆ *особенно сильные шквалы — при скорости ветра более 30 м/с.*

Шквалы — явление локальное. Иногда в одном пункте может наблюдаться целая серия шквалистых усилений ветра.

5.1. Физические условия образования шквалов

Кучево-дождевые облака образуются в результате реализации больших запасов энергии неустойчивости атмосферы. В начальной стадии развития формируются преимущественно восходящие потоки воздуха, которые в процессе развития кучево-дождевых облаков усиливаются за счет дополнительного тепла, выделяющегося в облачном воздухе в процессе конденсации и кристаллизации водяного пара. Когда в облаках накапливается достаточное количество влаги и происходит укрупнение облачных элементов, некоторые объемы облачного воздуха начинают опускаться вниз под действием массы накопленной в облаке капельно-жидкой влаги, кристаллов и града. Накопление влаги происходит наиболее интенсивно на высотах, где температура воздуха составляет $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже, а восходящие потоки воздуха достигают максимальных скоростей.

В процессе опускания объемов облачного воздуха вниз влага в них испаряется, что, в свою очередь, вызывает более ускоренное движение вниз. Наиболее интенсивные потоки достигают поверхности земли и, преобразовываясь в горизонтальный поток, создают резкое усиление ветра. Это первое условие, вызывающее возникновение шквала.

Вторым условием является возникновение мелкомасштабных волн падения и роста давления, что обуславливает очень большие барические градиенты давления. Причиной такого процесса являются мощные восходящие конвективные потоки в передней части облака и нисходящие в центральной и тыловой частях облака. Восходящие потоки создают дефицит массы воздуха, что сопровождается резким падением давления, а нисходящие потоки определяют рост давления.

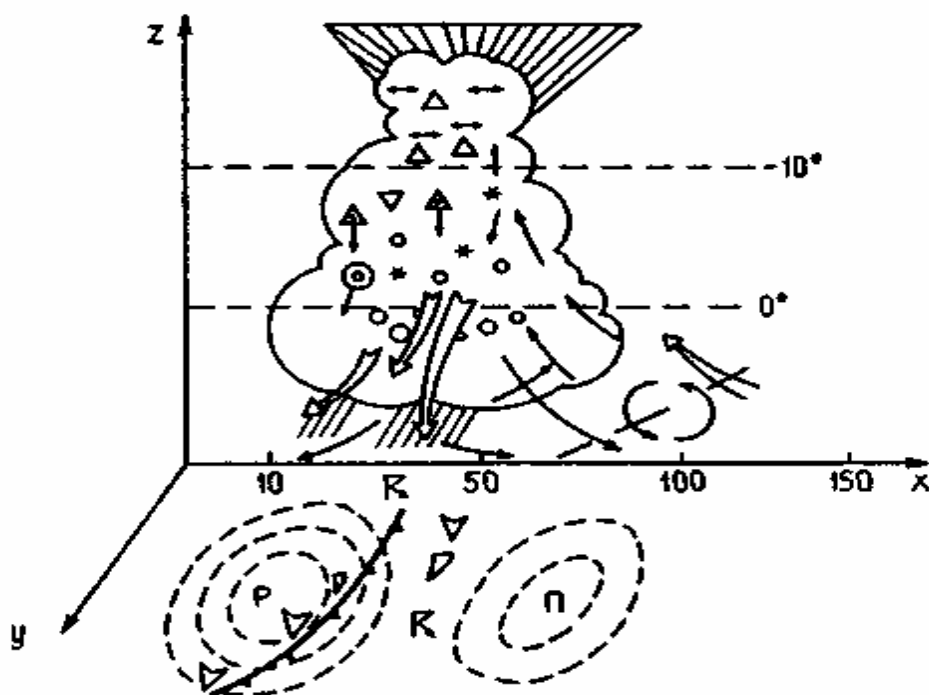


Рис. 17. Схема циркуляции в кучево-дождевом облаке при шквале

Наличие вертикальных потоков разного знака способствует образованию шквалистого ворота с горизонтальной осью впереди кучево-дождевого облака (рис. 17). Горизонтальная ось располагается в среднем на высоте 500—600 м впереди Сб за 1—2 км до сплошной завесы дождя.

Шквалы, как правило, сопровождаются осадками в виде ливневого дождя и града. Время начала ливневого дождя и время начала шквала довольно близки. Особенно сильные шквалы наблюдаются в зоне ливневого

дождя спустя 5—10 мин после его начала, если же шквал начинается до начала дождя, то он имеет умеренную интенсивность. Это обуславливается тем, что в этом случае нисходящий поток обгоняет ливень и теряет свою энергию.

5.2. Аэросиноптические условия возникновения шквалов

В зависимости от синоптических условий, при которых наблюдаются возникновение и развитие шквалов, различают *внутримассовые и фронтальные шквалы*. Фронтальные шквалы наблюдаются в 75 % случаев, а внутримассовые — только в 25 % случаев.

Внутримассовые шквалы обычно бывают умеренными или слабыми, наблюдаются с мая по август, как правило, во вторую половину дня. Внутримассовые шквалы связаны с кучево-дождевыми облаками, образующимися при термической конвекции в теплой неустойчивой воздушной массе, либо при термодинамической конвекции в холодной неустойчивой воздушной массе в тыловой части циклонов. Шквал перемещается вместе с порождающим его облаком, поэтому последствия шквала прослеживаются в пределах определенной полосы («след» шквала).

Иногда шквалы возникают вдоль «линий неустойчивости», которые в отличие от атмосферных фронтов существуют кратковременно и не прослеживаются на картах барической топографии.

Синоптическая обстановка при возникновении шквалов характеризуется наличием *слабых барических и термических градиентов* как у поверхности земли, так и на высотах. *Температура воздуха* у поверхности земли имеет хорошо выраженный суточный ход с максимумом в 14—15 ч местного времени, причем значение максимальной температуры воздуха, как правило, выше 25 °С.

Фронтальные шквалы являются наиболее опасными и чаще связаны с холодными атмосферными фронтами и холодными фронтами окклюзии. По синоптическим условиям исследованные фронтальные шквалы можно разделить на *четыре типа*.

Первый тип фронтального шквала соответствует синоптической обстановке, при которой наблюдается хорошо выраженный в поле температуры малоподвижный холодный фронт с волнами (рис. 18).

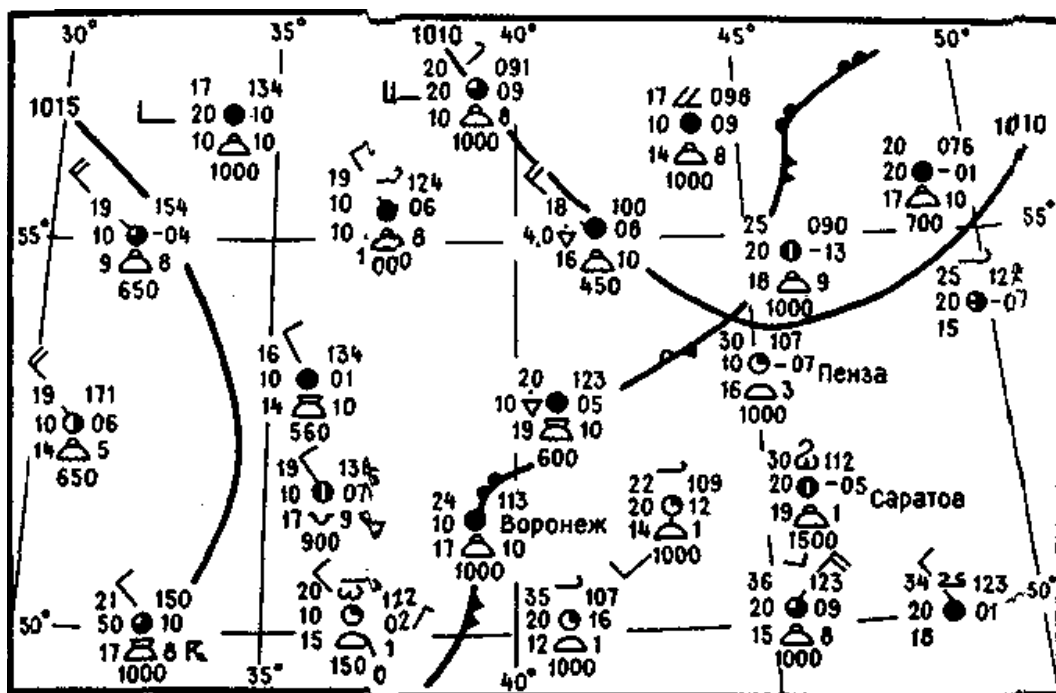


Рис. 18. Типичная синоптическая ситуация, характерная для фронтальных шквалов

Волновые возмущения со скоростью 40—70 км/ч перемещаются вдоль линии фронта. Контрасты температуры воздуха в зоне фронта у поверхности земли превышают 10 °С. Шквалы возникают вблизи вершины волновых возмущений преимущественно в теплом воздухе (в теплом секторе волны). Чаще всего такие шквалы возникают в дневное время. Они встречаются в 55 % случаев от общего числа фронтальных шквалов.

На рис. 18 представлена синоптическая ситуация за 15 ч 14 августа 1961 г. Шквал возник в районе Воронежа, скорость ветра значительно превышала 30 м/с. Выпадение градин размером 5—7 см в диаметре нанесло значительный материальный ущерб. Ветром были разрушены линии электропередач, поломаны деревья, повреждены крыши домов.

Второй тип фронтального шквала наблюдается на быстродвижущемся холодном атмосферном фронте с большими (более 10 °С) контрастами температуры воздуха у поверхности земли (рис. 19). Шквалы на холодных атмосферных фронтах данного типа возникают весьма часто, но сильные шквалы наблюдаются сравнительно редко.

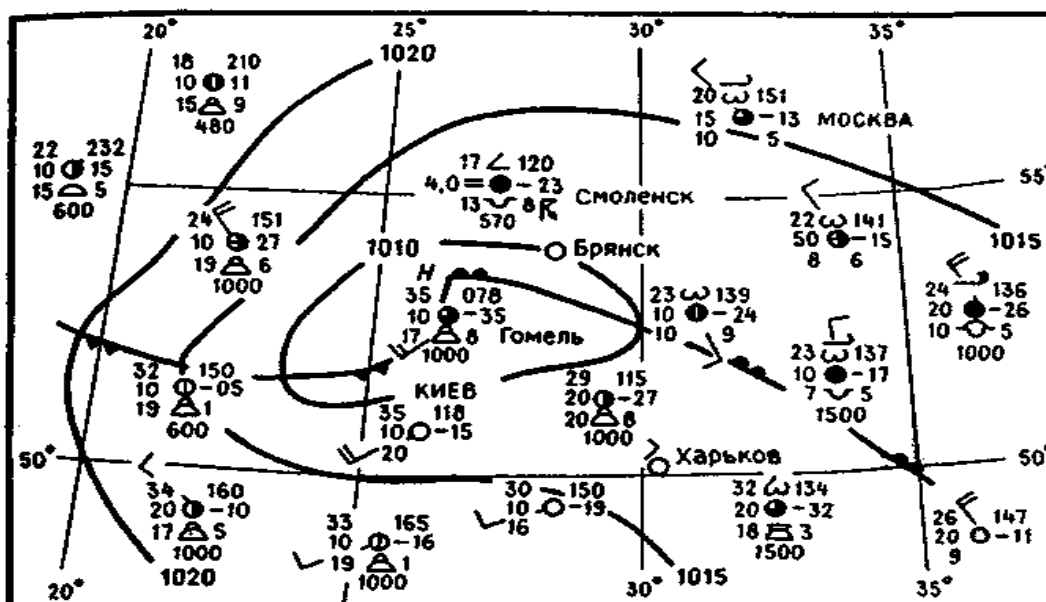


Рис. 19. Типичная синоптическая обстановка, характерная для фронтальных шквалов второго типа

Наличие в зоне холодного атмосферного фронта достаточно мощных упорядоченных вертикальных движений, обусловленных циклонической кривизной изобар, способствует развитию вынужденной конвекции. В зоне холодных атмосферных фронтов, располагающихся в глубоких барических ложбинах, такие вертикальные движения бывают наиболее интенсивными.

Третий тип фронтального шквала наблюдается вблизи точки окклюзии — на стыке теплого и холодного атмосферных фронтов, хорошо выраженных в поле температуры воздуха (рис. 20).

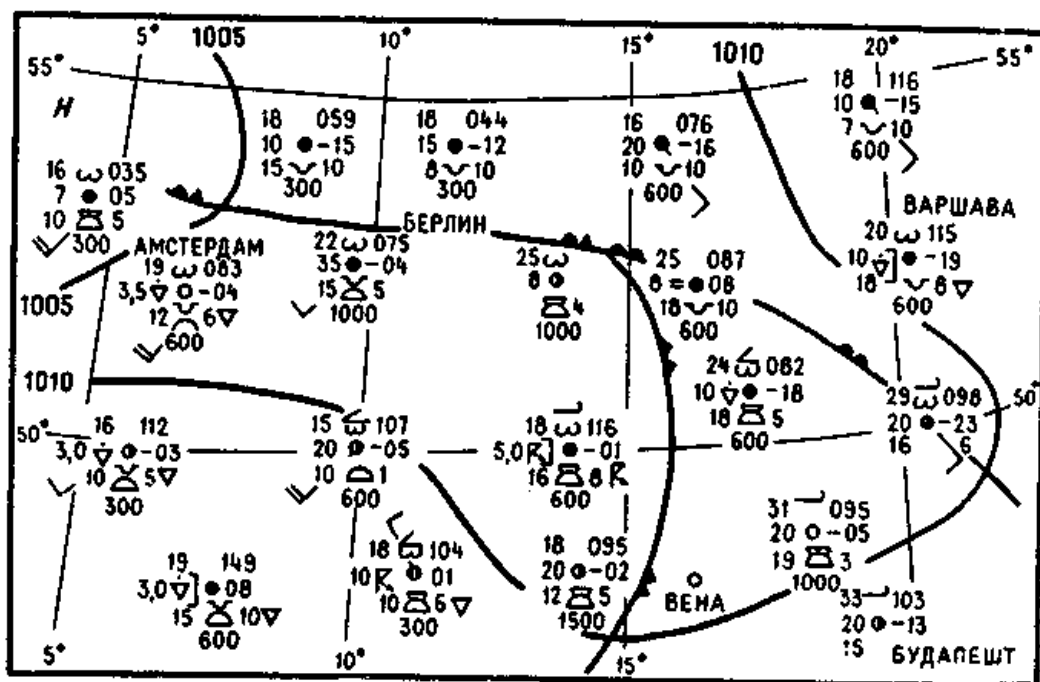


Рис. 20. Типичная синоптическая обстановка, характерная для фронтальных шквалов третьего типа

Шквалы у точки окклюзии — более редкое явление, чем шквалы первого типа. Скорость ветра у поверхности земли в 75 % случаев достигает 20—30 м/с, а в 25 % случаев превышает 30 м/с. Наиболее благоприятные условия для образования шквалов у точки окклюзии создаются в теплую половину года во второй половине дня (12—18 ч местного времени). Характерной особенностью шквалов данного типа является то, что они наблюдаются только при отрицательных барических тенденциях вблизи точки окклюзии, превышающих — 3,0 гПа за 3 ч.

Четвертый тип фронтального шквала наблюдается в тыловой части циклона в неустойчиво стратифицированной воздушной массе при прохождении вторичных холодных атмосферных фронтов (рис. 21). В образова-

Особенностью разработки прогноза шквалов является то, что кроме факта возникновения шквала необходимо также предсказать значение максимальной скорости ветра.

Метод Г.Д. Решетова разработан для центральных районов европейской части России и позволяет прогнозировать шквал с заблаговременностью 9—12 ч.

Исходными аэросиноптическими материалами являются: приземные синоптические и кольцевые карты погоды, карты барической топографии текущих суток, данные вертикального зондирования атмосферы за 3 ч для пункта прогноза и по территории. Прогноз шквала разрабатывается в два этапа. На первом этапе разрабатывается прогноз синоптического положения и, если оно благоприятно для возникновения шквала, производится расчет параметров, определяющих условия возникновения шквала.

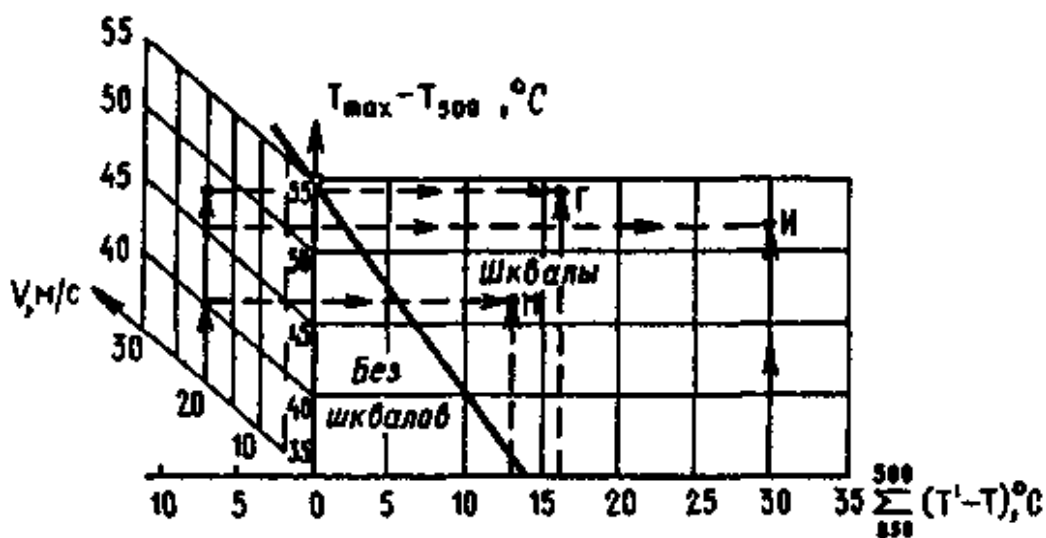


Рис. 22. Диаграмма для прогноза шквала по способу Г.Д. Решетова

В качестве предикторов используются:

$$\sum_{850}^{500} (T' - T) \text{ — сумма отклонений кривой состояния от кривой стратификации температуры на поверхностях 850, 700, 600 и 500 гПа;}$$

тификации температуры на поверхностях 850, 700, 600 и 500 гПа;

T_{max} — прогноз максимальной температуры воздуха у поверхности земли на период 14—16 ч, а в случае фронта — перед его прохождением;

$T_{max} - T_{500}$ — разность между T_{max} и температурой воздуха на поверхности 500 гПа;

$\bar{V} = \frac{1}{4}(V_3 + V_{850} + V_{700} + V_{500})$ — средняя скорость ветра в слое от земли до поверхности 500 гПа. Данный предиктор позволяет количественно учесть перенос количества движений за счет нисходящих потоков;

$T_{см}$ — температура воздуха у поверхности земли в нисходящем потоке под кучево-дождевым облаком, равная нулевой температуре смоченного термометра, приведенной влажноадиабатически к давлению p_0 ;

$T_{max} - T_{см}$ — эта разность характеризует возможное понижение температуры воздуха при выпадении дождя.

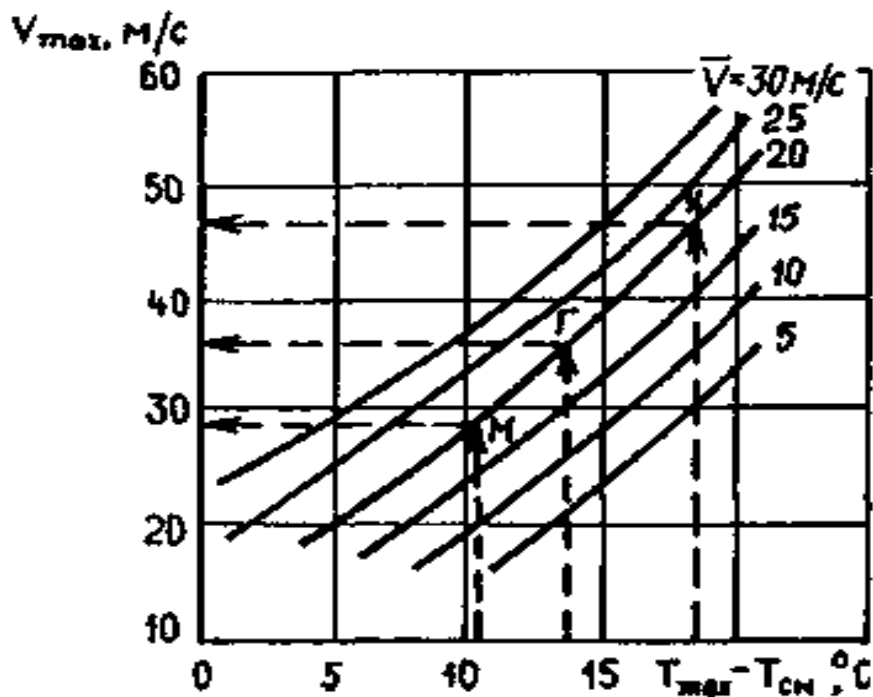


Рис. 23. Определение скорости ветра при шквале

Прогноз шквала разрабатывается с помощью диаграммы (рис. 22). Если точка пересечения попадает в область «Шквалы», то следует ожидать его возникновения. Расчет скорости ветра осуществляется по графику (рис. 23).

Метод Р.А. Ягудина разработан для прогноза шквала в районе Новосибирска. Он позволяет прогнозировать факт возникновения шквала и максимальную скорость ветра при нем. Условия возникновения шквала обуславливаются достаточной энергией неустойчивости и достаточным значением влажности в нижнем и среднем слоях тропосферы.

При условиях, благоприятных для развития интенсивной конвекции, с помощью графиков (рис. 24) разрабатывается прогноз шквала.

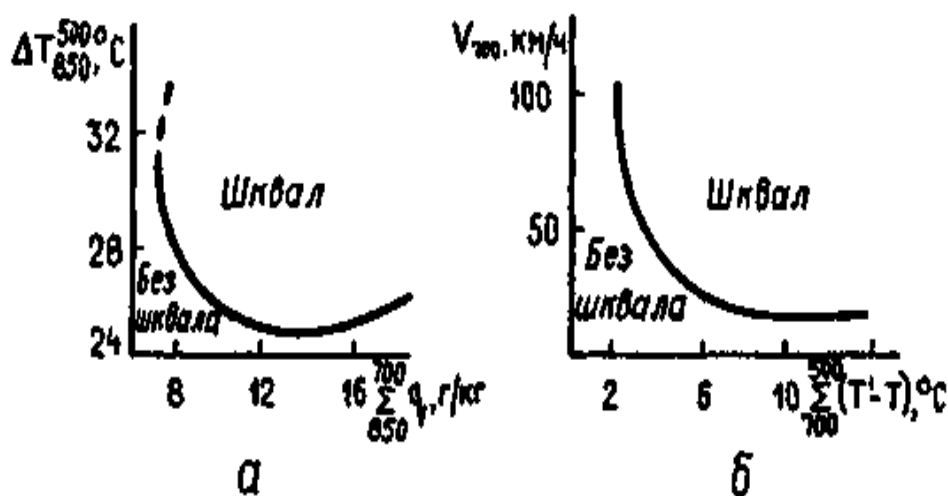


Рис. 24. Графики для прогноза шквала по способу Р.А. Ягудина

Шквал прогнозируется, когда по обоим графикам а и б точки попадают в область шквалов.

6. УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СМЕРЧЕЙ

Смерч (торнадо) — это сильный мелкомасштабный вихрь почти с вертикальной или слегка изогнутой осью, имеющей вид темного облачного столба диаметром от нескольких десятков до нескольких сотен метров, опускающийся в виде воронки из низкого основания мощного грозового кучево-дождевого облака до земной или водной поверхности.

Смерчи относятся к особо опасным явлениям, т. к. скорость вращения вихря составляет 200—300 м/с и он приносит огромные катастрофические разрушения.

6.1. Характеристика и классификация смерчей и тромбов

Данный мелкомасштабный вихрь, образующийся над морем, называется, как правило, *смерчем*, а над сушей – *тромбом*. В США их называют *торнадо*. Он причиняет большие разрушения вследствие огромной силы ветрового напора и большой разности давления в нем и окружающем пространстве. При прохождении смерчей разрушаются дома, наиболее часто снимаются крыши, разрушаются линии электропередач, мощные деревья вырываются с корнями, часто уничтожаются огромные лесные массивы, многотонные предметы переносятся на большие расстояния.

Смерчи возникают в различных частях земного шара, наиболее часто — на территории США, реже бывают в Австралии, Новой Зеландии, Японии, Индии, Аргентине, Южной Африке и Европе. На земном шаре в течение года возникает около 1000—1500 смерчей, из них половина приходится на территорию США. В США существует так называемая «аллея торнадо» — полоса наибольшей повторяемости смерчей, проходящая с юга на север, а затем на северо-восток через штаты Техас, Оклахома, Канзас, Миссури. С 1961 по 1999 на территории США от торнадо погибало в среднем 82 человека в год.

На территории России смерчи – сравнительно редкое явление. Они наблюдаются у Черноморского, Азовского побережья, в центральных областях ЕТР, в Поволжье, на Урале.

Существует достаточно большое разнообразие смерчей и сопутствующих им явлений погоды.

Структура смерча весьма сложная. В общем случае он состоит из внутренней полости и стенок. В центральной части смерча имеется ядро, шириной 100—150 м и менее, в котором наблюдается мощная (60—80 м/с) нисходящая струя воздуха. Выхоложенный опускающийся воздух конвергирует у земли, увеличивая разрушительную силу смерча и образуя его подножье. Вокруг ядра отмечаются сильные (до 70—90 м/с) восходящие движения воздуха, в результате которых по всей длине смерча происходит конденсация водяного пара, что придает ему белесоватый цвет, видный издали. Когда смерч вбирает в себя пыль и песок он становится темным. Часто очевидцы отмечают серо-зеленый цвет всасывающего хобота. Если смерч образуется над водной поверхностью, то он состоит из мощного вертикального движущегося водного столба. Нередки случаи, когда небольшие водоемы остаются без воды или вдали от берега моря находят морских рыб и медуз.

Длительность существования смерча различна: от нескольких минут до нескольких часов. **Скорость перемещения** смерча составляет от 20 до 60 км/ч. Отмечаются случаи, когда смерч стоит на месте. **Длина пути** перемещения смерча: от нескольких десятков до нескольких сотен километров. С самолета путь смерча кажется тонкой светлой полосой, словно гигантским пылесосом смело с земли всю растительность, рыхлую почву. Когда он проходит по лесным массивам, его траектория прослеживается по длинной вытянутой полосе поваленных деревьев шириной 500—1000 м. Смерчи нередко «прыгают», полоса разрушений сменяется неповрежденным участком, далее идет снова полоса разрушений и т. д.

Скорость вращения воронки или скорость ветра в ее стенках представляет важнейшую особенность смерча. Эти скорости весьма различны и быстро меняются даже у одной и той же воронки. Но самое главное то, что они могут превышать скорость звука, равную 1200 км/ч или 332 м/с. Существующие метеоприборы не способны зарегистрировать такие скоро-

сти. Однако специалисты по сопротивлению материалов довольно точно высчитали эти скорости по тому, как изгибались и ломались различные предметы.

Об этом свидетельствуют следующие факторы: при прохождении смерчей опрокидывались груженые железнодорожные вагоны, стальные опоры линий электропередач были согнуты до земли, стекла домов пробиты мелкой галькой, но не рассыпались — эффект как от пули; часто деревянные доски протыкали стены домов, хотя сами не повреждались.

Атмосферные явления, сопровождающие смерчи, весьма разнообразны. Как правило, смерчи сопровождаются *сильным ливнем и градом*, имеющего крупный размер. Часто град имеет размер с голубиное или куриное яйцо. Отмечены случаи выпадения градин 30—40 см в окружности, а слой выпадения в долине реки около 2 м.

С приближением смерча слышен *очень сильный шум*, возникающий от ветра и столкновения различных предметов, втягивающихся в разреженную центральную область смерча.

Электрические явления в смерчах значительно отличаются от обычных молний, многочисленны и разнообразны. Некоторые описания их: желто-белая яркая поверхность воронки, непрерывные сияния, огневые шары, светящиеся облака, вращающиеся светящиеся блестящие шаровые молнии. Обычные молнии в смерчевом облаке очень интенсивны. Но иногда их вообще не наблюдается.

Существует несколько типов смерчей.

Обычные гладкие смерчи. Характерной особенностью служит устойчивая гладкая поверхность. Вторая особенность — значительная длина и небольшой диаметр. Третья — квазивертикальное положение.

Расплывчатые смерчи. Они возникают, когда материнское облако опускается, воронка не видна, и облако медленно ползет по земле.

При этом оно имеет расплывчатые очертания, часто черного цвета. Разрушения при этом не уменьшаются, а иногда даже увеличиваются.

Групповые смерчи. Если смерчевое кучево-дождевое облако имеет характер суперячейки, большие размеры, более 20 км в диаметре, то оно образует иногда два-три смерча.

Водяные смерчи наблюдаются над морями и озерами. Они всасывают огромные порции воды, представляют собой водяной столб и сопровождаются иногда огромными каскадами брызг. Выходя на побережье, смерчи водным потоком смывают строения, дамбы и т. д.

Огненные смерчи образуются над действующими вулканами и над лесными пожарами. Основной причиной их образования является мощный конвективный поток за счет огромного выделения тепла. При удалении от источника тепла смерчи, как правило, исчезают.

Метеорологическая служба США приняла в качестве официальной следующую *шкалу интенсивности смерчей*.

F₀ — скорость ветра 18—32 м/с. Слабые разрушения: повреждаются печные трубы, заборы, деревья.

F₁ — скорость ветра 33—49 м/с. Умеренные разрушения: срываются покрытия с крыш, движущиеся автомобили сбрасываются с дороги.

F₂ — скорость ветра 50—69 м/с. Значительные разрушения: срываются крыши с домов, переворачиваются грузовики, вырываются с корнем деревья.

F₃ — скорость ветра 70—92 м/с. Сильные разрушения: крыши и часть стен разрушаются, переворачиваются вагоны, в лесу вырывается с корнем большая часть деревьев, тяжелые автомобили поднимаются над землей и разбрасываются.

F₄ — скорость ветра 93—116 м/с. Опустошительные разрушения: разрушаются большие здания, строения со слабым основанием переносятся над земной поверхностью, машины разбрасываются в стороны, крупные предметы носятся в воздухе.

F_5 — скорость ветра 117—142 м/с. Сверхопустошительные разрушения: поднимаются тяжелые здания, переносятся на расстояния и разрушаются автомобили, огромные предметы переносятся по воздуху на большие расстояния с большой скоростью, деревья разламываются на части.

F_6 — скорость ветра от 142 м/с до скорости звука. Смерчи такой скорости не зафиксированы, но имеются косвенные оценки по результатам разрушений.

Для катастрофических смерчей $V > 93$ м/с характерна многовихревая структура. В них на периферии основного смерча по кольцу быстро вращаются вокруг своей оси и одновременно вокруг оси нового смерча вторичные вихри. Именно вторичные вихри вызывают наиболее сильные разрушения.

6.2. Условия возникновения и развития смерчей в средних широтах

Для формирования смерча в воздушных массах необходим резкий контраст температуры, влажности, плотности и параметров воздушных потоков.

Смерчи образуются в зонах активной конвекции в углубляющихся циклонах, на обостряющихся холодных фронтах, впереди них, т. е. в теплых секторах циклонов и под обширными тропосферными депрессиями.

Для образования смерчей благоприятны три типа состояния и вертикальной структуры воздушных масс.

Тип I. Теплая воздушная масса, состоящая из трех слоев в нижней части тропосферы (до 400 гПа). Толщина слоев может быть любой при условии, что средний слой будет самым тонким.

Нижний слой — влажный ($R \geq 65$ %, $T_d \geq 13$ °С), неустойчивый. Средний слой сухой ($R < 50$ %), устойчивый. Верхний слой — неустойчи-

вый, относительная влажность в нем сначала растет медленно, а затем отмечается ее резкое увеличение.

Ветер усиливается с высотой, причем непосредственно над нижним слоем наблюдается сильное струйное течение со скоростью более 15 м/с, которое направлено перпендикулярно потоку в нижнем слое.

Тип II. Теплая, влажная, неустойчивая воздушная масса (обычно морской тропический воздух) без инверсий.

За несколько часов до смерча температура воздуха у поверхности земли $T \geq 27^\circ\text{C}$, относительная влажность до высоты 7 км $R \geq 65\%$. Для формирования смерча необходим значительный вертикальный сдвиг ветра.

Тип III. Относительно холодная ($T \approx 20^\circ\text{C}$ у поверхности земли), неустойчивая и влажная ($R > 70\%$ до высоты 7 км) воздушная масса. Ветер усиливается с высотой и резко меняет направление.

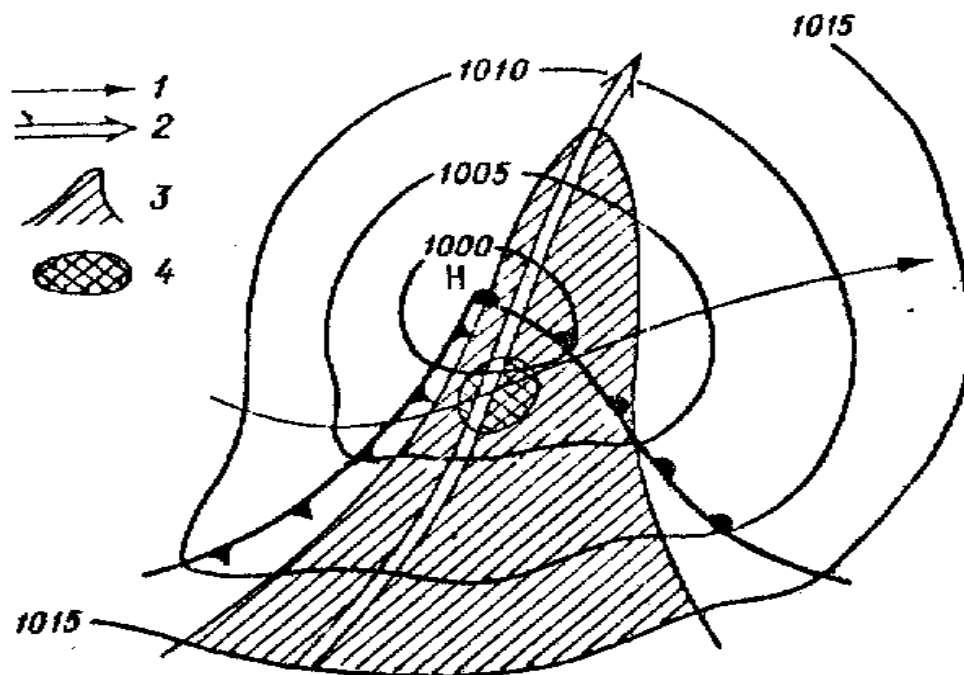


Рис. 25. Синоптическая ситуация, благоприятная для образования смерча:

1 — струйное течение в свободной атмосфере (7—9 км); 2 — струйное течение на уровне 1,5—2 км; 3 — «язык» влажного воздуха; 4 — район наиболее вероятного образования смерча

Пример наиболее типичной синоптической ситуации, при которой образуется смерч, показан на рис. 25.

Необычно интенсивные смерчи, наблюдались 9 июня 1984 года на территории Ивановской, Ярославской, Костромской, Калининской и Московской областей. Здесь отмечались смерчи разрушительной силы, со скоростью ветра до 100 м/с. Такой силы смерчи на территории нашей страны наблюдаются чрезвычайно редко.

Наиболее сильный смерч 9 июня 1984 г. наблюдался в г. Иваново. Смерч сопровождался градом с диаметром более 2 см, сильным свистом и гулом, подобно тому, какой создает реактивный самолет. Материнское облако, из которого опустился «хобот», быстро перемещалось, в полосе шириной около 500 м смерч срывал крыши домов, ломал и вырывал деревья, столбы и опоры электропередач; прочные деревянные дома, и особенно их кровли, разрушались; переворачивались тяжелые вагоны, приподнимались, многократно переворачивались и сносились в сторону автомашины, автобусы, троллейбусы и другие предметы. Бак водонапорной башни массой 50 т был отброшен на 200 м. Наблюдались сильные лесоповалы.

В других областях при смерче выпадали осадки от 10 до 30 мм и более, град размером 3—15 см, масса отдельных градин достигала до 1 кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опасные и особо опасные явления погоды, связанные с интенсивной конвективной деятельностью, отличаются большим многообразием, наносят значительный материальный ущерб и нередко приводят к гибели людей.

Сильные ливневые дожди вызывают наводнения, размывают дороги, дамбы, в горных районах приводят к возникновению селей. Сильные снегопады инициируют снежные лавины в горах. Крупный град наносит ущерб сельскохозяйственным культурам, повреждает автомобили, крыши домов и т. д. Гроза вызывает лесные, торфяные пожары, иногда разряды молний приводят к гибели людей. Шквалы и смерчи приносят значительные, часто катастрофические разрушения.

Это вызывает необходимость глубокого, комплексного изучения условий возникновения и развития опасных конвективных явлений, особенностей их проявления в различных физико-географических районах и климатических зонах, совершенствование методов прогноза.

Обнаружение, прогнозирование и предупреждение административных органов, населения и организаций о явлениях, приводящих к созданию чрезвычайных ситуаций, к гибели людей входит в задачу гидрометеорологической службы и МЧС.

Важнейшей задачей всех прогностических подразделений является составление и доведение до организаций и населения прогнозов и предупреждений о возникновении опасных природных явлений и стихийных бедствий с максимально возможной заблаговременностью. При этом существует система подготовки и доведения предупреждений, предусматривающая взаимное согласование их содержания между периферийными прогностическими центрами и Роскомгидрометом.

Главная задача МЧС России – это ликвидация последствий опасных природных явлений и стихийных бедствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев М.А. Стихийные явления природы: проявление, эффективность защиты / М.А. Алексеев. – М. : Мысль, 1988. – 255 с.
2. Алексеенко В.А. Биосфера и жизнедеятельность / В.А. Алексеенко, Л.П. Алексеенко. – М. : Логос, 2002. – 212 с.
3. Борисенков Е.П. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы / Е.П. Борисенков, В.М. Пасецкий. – М. : Мысль, 1988. – 315 с.
4. Заводченков А.Ф. Воронежская область. Природа и чрезвычайные ситуации / А.Ф. Заводченков, В.И. Федотов. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного университета, 2005. – 98 с.
5. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. – СПб. : Гидрометеиздат, 2000. – 778 с.
6. Семенченко Б.А. Физическая метеорология / Б.А. Семенченко. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – 416 с.
7. Чечкин С.А. Основы геофизики / С.А. Чечкин. – Л. : Гидрометеиздат, 1990. – 357 с.
8. Хромов С.П. Метеорология и климатология / С.П. Хромов, М.А. Петросянц. – М. : Изд-во МГУ, 2004. – 582 с.

Учебное издание

**ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ
Часть III**

**Опасные явления погоды конвективного
происхождения**

Учебно-методическое пособие для вузов

**Составитель
Назаренко Александр Васильевич**

Редактор И.Г. Валынкина

Подписано в печать Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 3,72.
Тираж 100 экз. Заказ 1179.

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10. Тел. 208-298, 598-026 (факс)
<http://www.ppc.vsu.ru>; e-mail: pp_center@ppc.vsu.ru

Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического центра
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3. Тел. 204-133.