

Шушарина Л.М.  
Мусралинова Г.Т.

**Практикум по синоптической и авиационной метеорологии**  
*(для студентов метеорологов военной кафедры)*

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный университет  
имени аль-Фараби

Военная кафедра

**Практикум по синоптической и авиационной метеорологии**  
*(для студентов метеорологов военной кафедры)*

Рекомендовано Научно-методическим советом университета  
в качестве учебно-методического пособия

Алматы, 2019

УДК

Рецензенты:

*Боголюбова Елена Валентиновна кафедры метеорологии и гидрологии. факультета географии и природопользования Казахского Национального Университета им. аль-Фараби*

*Полковник запаса Кибатаев К.М. кандидат исторических наук, преподаватель военной кафедры Казахского Национального Университета им. аль-Фараби*

В практикум включены лабораторные работы по разделам синоптической и авиационной метеорологии. Он обеспечивает проведение лабораторных занятий по всем разделам синоптической и авиационной метеорологии, предусмотренным учебной программой, по которой обучаются студенты - метеорологи военной кафедры. В каждой лабораторной работе содержатся краткие сведения по теории, сформулированы задачи работы и даны методические указания по её выполнению.

Предназначен в качестве учебного пособия для студентов гидрометеорологических университетов и студентов военной кафедры вузов.

## Оглавление

Предисловие.....	
Часть I. Синоптическая метеорология .....	
1. Анализ поля давления и расчет основных его характеристик ( <i>барическая ступень, барический градиент, лапласиан</i> ).....	
2. Анализ поля ветра и расчет его характеристик.....	
3.Прогноз температуры воздуха в приземном слое.....	
4. Анализ атмосферных фронтов.....	
5. Анализ возникновения и развития циклона.....	
6. Общая типизация синоптических процессов.Синоптические процессы, приводящие к значительным похолоданиям и потеплениям в Казахстане...	
Часть II. Авиационная метеорология.....	
7.Анализ влияния температуры на продолжительность полетов по трассе и расход топлива.....	
8. Оценка влияния ветра на полет воздушного судна .....	
9.Определение потолка самолета.....	
10.Диагноз и прогноз атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов.....	
11. Прогноз туманов и слоистообразной облачности .....	
12.Комплексный анализ атмосферных процессов .....	
13. Тестовые задания по синоптической метеорологии.....	
14. Тестовые задания по авиационной метеорологии.....	
СПИСОК	
ЛИТЕРАТУРЫ.....	

## СОКРАЩЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕРМИНОВ

ВС- воздушное судно  
КБТ – карта барической топографии  
АТ – абсолютная топография  
ОТ – относительная топография  
АФ –атмосферный фронт  
ТФ – теплый фронт  
ХФ – холодный фронт  
ТФО – теплый фронт окклюзии  
ХФО – холодный фронт окклюзии  
АД – аэрологическая диаграмма  
ВФЗ –высотная фронтальная зона  
АКП –авиационная карта погоды  
МСЗ – метеорологически спутник земли  
ЕТР –европейская территория России  
ВМ –воздушная масса  
ОЯ-опасные явления  
СГЯ – стихийные гидрометеорологические явления  
ВПП – взлетно посадочная полоса  
АМСГ- авиационная метеорологическая станция гражданской авиации

## Предисловие

Практикум подготовлен в соответствии с программой дисциплин «Метеорология», «Метеорологическое обеспечение», «Метеорология летательных аппаратов». Он содержит 12 лабораторных работ, сгруппированных в две части. Каждая лабораторная работа включает описание задания, краткие методические указания по её выполнению и рекомендуемой литературой.

Цель практикума - освоение разделов синоптической и авиационной метеорологии и приобретение практических навыков метеорологического обеспечения полетов воздушных судов и решение некоторых задач сухопутных войск.

Большая часть лабораторных работ по авиационной метеорологии выполняется на основе Учебного авиационного метеорологического атласа.

Материалы атласа позволяют проводить лабораторные и практические занятия по авиационной метеорологии и другим смежным дисциплинам. В материалы атласа входят синоптические карты, карты барической топографии до 200 гПа, карты АКП, карты особых явлений погоды, фотомонтажи данных МСЗ.

Лабораторные работы по синоптической метеорологии выполняются с применением архивного и текущего аэросиноптического материала программы «ГИС метео».

## Часть I Синоптическая метеорология

### Лабораторная работа №1

#### Анализ поля давления и расчет основных его характеристик (барическая ступень, барический градиент, лапласиан)

**Атмосферное давление** – это вес столба воздуха с поперечным сечением в  $1 \text{ см}^2$  и высотой от заданного уровня до верхней границы атмосферы. Единицей давления является гектопаскаль (гПа) или миллиметр ртутного столба (мм.рт.ст.).

Для измерения давления используются ртутные барометры и барометры-анероиды. На аэродромах атмосферное давление измеряется электронными, ртутными барометрами или датчиками атмосферного давления автоматических метеостанций, принятых на вооружение метеорологических подразделений.

Основной формой представления полей атмосферного давления являются приземные карты погоды и карты абсолютной топографии основных изобарических поверхностей. С их помощью наглядно представляются основные формы барического рельефа.

**Циклон** – это область низкого атмосферного давления, ограничиваемая замкнутыми изобарами, с наименьшим давлением в центре, с циркуляцией воздуха против часовой стрелки. Обозначается буквой «Н».

**Частным циклоном** называется замкнутая область низкого давления, сформированная в ложбине основного циклона и оформленная одной-двумя замкнутыми изобарами.

**Ложбина** – узкая, вытянутая от циклона незамкнутая область пониженного давления.

**Перемычка низкого давления** это область примерно с параллельными изобарами, образующаяся между двумя областями высокого давления.

**Антициклон** – это область высокого атмосферного давления, ограничиваемая замкнутыми изобарами, с наибольшим давлением в центре, с циркуляцией воздуха по часовой стрелке. Обозначается буквой «В».

**Частным антициклоном** называется антициклон, оформленный одной - двумя замкнутыми изобарами, расположенный в гребне основного антициклона.

**Гребень**- узкая, вытянутая от антициклона незамкнутая область повышенного давления.

**Перемычка высокого давления** это область заключенная между двумя областями низкого давления.

**Деформационное поле** – это поле, составленное из двух накрест лежащих циклонов и двух накрест лежащих антициклонов.

Основной особенностью поля давления является отсутствие мелкомасштабных возмущений, порядка нескольких десятков километров. Поэтому изобары и изогипсы на синоптических картах не могут иметь крутых изгибов и изломов. Исключение возможно в горных районах, когда холодный воздух накапливается по одну сторону горного хребта, вследствие чего давление по обе его стороны сильно различается. В результате возникает зона резко увеличенных градиентов давления, нарушающая маловозмущенный характер распределения давления.

Распределение давления в горизонтальной плоскости зависит от условия теплового баланса, развития макро-и мезомасштабных вихрей, характера подстилающей поверхности и др. Изменение давления с высотой зависит от плотности воздуха. При высоких температурах и низком давлении плотность воздуха меньше, поэтому изменение давления с высотой идет медленнее, чем при низких температурах и высоком давлении.

Для характеристики изменения давления с высотой вводится понятие барической ступени.

**Барическая ступень** – это высота в метрах, на которую нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на 1 гПа. В приземном слое атмосферы барическая ступень равна примерно 8 м. С высотой величина ее быстро увеличивается и, например, между поверхностями 500 и 400 гПа она равна в среднем 20 м.

Для характеристики распределения давления в пространстве вводится понятие изобарических поверхностей.

**Изобарической поверхностью** называется поверхность равного давления.

Карты абсолютной топографии (АТ) дают полное представление о распределении давления на высотах, близких к средним высотам основных изобарических поверхностей, для которых они строятся. Перечень этих изобарических поверхностей и соответствующие им средние высоты приведены в табл.1.

Таблица 1

Средние высоты основных изобарических поверхностей

<b>Карта</b>	<b>Высота (км)</b>
АТ <sub>850</sub>	1,5
АТ <sub>700</sub>	3,0
АТ <sub>500</sub>	5,5
АТ <sub>400</sub>	7,0
АТ <sub>300</sub>	9,0
АТ <sub>250</sub>	10,5
АТ <sub>200</sub>	12,0
АТ <sub>150</sub>	13,5
АТ <sub>100</sub>	16,0



АТ <sub>70</sub>	18,5
АТ <sub>50</sub>	20,5

Изобарические поверхности не представляют из себя плоскостей. Они имеют ложбины и гребни, т.е. они наклонены к поверхности уровня. Угол наклона составляет секунды, но именно их наклоном определяется главная сила, вызывающая движение воздуха – сила барического градиента.

Для характеристики распределения давления в горизонтальной плоскости вводится понятие **изобар**, т.е. линий, соединяющих точки с равным давлением.

Наиболее важными дифференциальными характеристиками поля давления, которые наиболее часто используются в оперативной прогностической работе, являются градиент и лапласиан давления.

**Барическим градиентом** называется изменение давления на единицу расстояния по нормали к изобаре (изогипсе). Обычно горизонтальный градиент давления выражается в гПа/100 км, а за направление градиента в метеорологии принято направление от высокого значения к низкому. Градиент давления измеряется одним из следующих способов.

1. Определяется расстояние по нормали между двумя изобарами в сотнях километров. Тогда численное значение горизонтального градиента давления

$$\text{grad}p = \delta p / \delta n \text{ гПа} / 100 \text{ км} \quad (1.1)$$

где  $\delta p$  – разность давлений на соответствующих изобарах,  $\delta n$  – расстояние между изобарами в сотнях километров. Для соседних изобар кратных 5,  $\delta p = 5$ .

2. Вдоль нормали к изобарам, проходящей через точку, в районе которой нужно получить значение градиента, методом интерполяции определяют значения давления в пунктах, находящихся по обе стороны от этой точки на расстоянии 50 км. Тогда

$$\text{grad}p = (p_1 - p_2) \text{ гПа} / 100 \text{ км} \quad (1.2)$$

где  $p_1$  и  $p_2$  – давление в пунктах, расположенных на расстоянии 50 км по обе стороны от исходной точки.

Аналогично вычисляются горизонтальные градиенты геопотенциала. Наиболее часто вычисляются **операторы Лапласа** по значениям  $p, H, T$ .

Лапласианы геопотенциала и давления количественно характеризуют значение вертикальной составляющей вихря скорости, что имеет важнейшее значение для современных схем численного прогноза.

Лапласиан также характеризует густоту изобар вдоль осей координат, т.е. степень циклоничности и антициклоничности.

Лапласиан давления в горизонтальной плоскости вычисляется по формуле:

$$\nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}, \quad (1.3)$$

после подстановки вторых производных в конечных разностях получим:

$$\nabla^2 p = \frac{1}{(\delta S)^2} (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - 4p_0) \text{ гПа}/10^4 \text{ км}^2, \quad (1.4)$$

где,  $p_i$  – давление в соответствующих узлах прямоугольной расчетной сетки ( $i=0, 1, 2, 3, 4$ ),  $\delta S$ - шаг сетки в сотнях километров (рис 1.1).

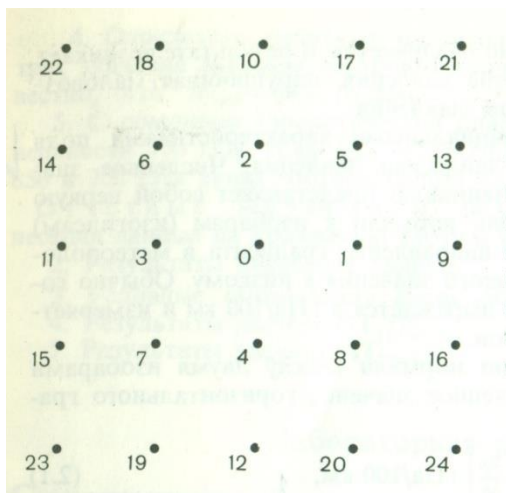


Рис.1.1 Прямоугольная расчетная сетка

Если расчеты производятся всегда по одной и той же расчетной сетке и решается только задача сравнения значений лапласианов, то постоянный множитель перед скобкой в формуле (1.4) опускается.

Лапласиан геопотенциала вычисляется по формуле, аналогичной (1.4).

Давление и геопотенциал изобарических поверхностей претерпевают изменения не только в пространстве, но и во времени. Представление об изменении давления на уровне моря на каждой станции во времени дают данные о барических тенденциях, на основе которых на приземных

синоптических картах проводятся линии равных значений тенденций – изаллобары (изотенденция).

**Барическая тенденция** - это величина изменения давления за каждые три часа.

Содержание задания.

1.Обозначить на карте изобар характеристические точки и линии барического поля и дать им соответствующие названия.

2.Вычислить по приземной карте значения градиента давления по формулам (1.1) и (1.2) и лапласианы давления по формуле (1.3) для пунктов, указанных преподавателем.

3.Для этих же пунктов по картам АТ 700 и АТ 500 рассчитать градиенты и лапласианы геопотенциала и сопоставить полученные результаты для различных уровней.

Исходные материалы.

- 1.Схематические карты изобар и изогипс.
2. Карты приземные и высотные АТ850, АТ700, АТ500 за 00 (03) часа текущего дня.

Рекомендации по выполнению задания.

1.В центре циклона поставить букву Н, в центре антициклона - букву В. Оси ложбин и гребней провести сплошной линией простым, черным карандашом, вдоль линии написать «ложбина» или «гребень». Найти и отметить гиперболическую точку седловины.

2.Для расчетов градиентов и лапласианов следует использовать палетку, приведенную на рисунке 1. с шагом 500 км. При этом

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial x} &= H_1 - H_3; & \frac{\partial H}{\partial y} &= H_2 - H_4; & \frac{\partial}{\partial x} \nabla^2 H &= (\nabla^2 H)_1 - (\nabla^2 H)_3 \\ & & & & \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 H &= (\nabla^2 H)_2 - (\nabla^2 H)_4. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Отчетные материалы.

- 1.Обработанные карты.
- 2.Результаты расчетов в рабочей тетради.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение всех форм барического рельефа.
2. Что такое барический градиент?
3. Назовите два способа расчета градиента давления.
4. Какая метеовеличина на приземной карте дает представление об изменении давления на уровне моря.

## 5. Что характеризует лапласиан давления?

### Лабораторная работа №2 Анализ поля ветра и расчет его характеристик.

**Ветром** называется горизонтальное движение воздуха относительно поверхности Земли. Поле ветра - векторное поле и характеризуется в каждой точке направлением, величиной скорости и порывистостью. Измеряется направление ветра в градусах от  $0^0$  до  $360^0$ . Для обозначения направления ветра в метеорологии используются 16 точек горизонта, называемые румбами (рис.2.1)

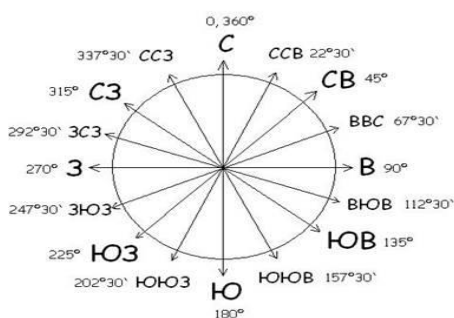


Рис.2.1. Направление ветра

**Скорость ветра** – расстояние, на которое перемещаются частицы воздуха за единицу времени. Единицей измерения является в приземном слое м/с, а на высотах км/ч.

Поля давления и ветра тесно связаны, так как единственной активной силой является горизонтальная составляющая градиента давления. Наибольшее практическое применение в практике синоптического анализа нашла геострофическая модель связи этих двух полей. Возникающее в этом случае установившееся горизонтальное прямолинейное движение воздуха при отсутствии сил трения, обусловленное балансом сил барического градиента и Кориолиса, называется **геострофическим ветром**. Скорость геострофического ветра по приземным синоптическим картам рассчитывается по формуле

$$V = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial n} \quad (2.1)$$

Для расчета проекций вектора скорости геострофического ветра используются следующие выражения:

$$u_g = -\frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial y}, v_g = \frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.2)$$

Расчет скорости геострофического ветра по картам АТ производится по формулам

$$u_g = -\frac{9,8}{l} \frac{\partial H}{\partial y}, v_g = \frac{9,8}{l} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (2.3)$$

$$V_g = \frac{9,8}{l} \frac{\partial H}{\partial y}, \quad (2.4)$$

где Н в гп.м.

Если измерять градиент давления в гПа/100 км и градиент геопотенциала в гп.дам/100 км, то формулы (2.1,2.2) преобразуются следующим образом:

$$V_g = \frac{5,4}{\sin\varphi} \frac{\partial p}{\partial n} \text{ м/с} \quad (2.5)$$

$$V_g = \frac{6,7}{\sin\varphi} \frac{\partial H}{\partial n} \text{ м/с} \quad (2.6)$$

В тех случаях, когда значение градиента давления (геопотенциала) оценивается по расстоянию между соседними изобарами (изогипсами), которые проведены через 5 гПа (4 гп. дам), следует пользоваться формулой

$$V_g = \frac{27}{\partial n \sin\varphi} \text{ м/с} \quad (2.7)$$

где  $\partial n$  в сотнях километров.

По формуле (2.7) можно построить градиентную линейку, которая позволит рассчитывать скорость геострофического ветра по расстоянию между соседними изобарами или изогипсами. На рисунке 2 представлена градиентная линейка, позволяющая рассчитывать  $V_g$  на широтах  $40^\circ$  и  $60^\circ$  и путь, пройденный воздушной частицей со скоростью  $V_g$  за 12 ч. Данные для промежуточных широт получают путем интерполяции.



Рис.2.1. Градиентная линейка для расчета скорости геострофического ветра.

В некоторых случаях оказывается полезным производить расчеты скорости ветра по данным о распределении давления (геопотенциала) с учетом кривизны изобар (изогипс) т.е. рассчитывать **градиентный ветер**, под которым понимается установившееся горизонтальное движение при отсутствии трения, обусловленное действием силы барического градиента, центробежной силы и силы Кориолиса. Вектор градиентного ветра направлен по касательной к изобаре (изогипсе карты АТ) так, что в северном полушарии низкое давление остается слева, в южном - справа. Скорость градиентного ветра зависит от величины центробежной силы, т.е. радиуса кривизны  $r$  изобар (изогипс).

При малой кривизне изобар (изогипс), когда радиус кривизны велик ( $r > 3000$  км) вычисление градиентного ветра может быть заменено вычислением геострофического ветра, который можно рассматривать как частный случай градиентного. При большой кривизне ( $r < 300$  км) следует учитывать ее влияние. Для этой цели наиболее удобно использовать специальную градиентную линейку.

Действительный ветер отличается по значению и направлению от геострофического и градиентного. Это обусловлено не только влиянием силы трения, которая особенно существенна в приземном слое, но и нестационарностью атмосферных движений. Скорость действительного ветра на уровне флюгера может быть приближенно рассчитана по формулам:

$$V = 0.7V_g(\text{море}) \quad (2.8)$$

$$V = 0.5V_g(\text{суша}) \quad (2.9)$$

Представление о структуре поля ветра в данный момент времени дают **линии тока** – это линии, в каждой точке которых вектор скорости ветра направлен по касательной. Если проводить линии тока по данным о геострофическом или градиентном ветре, то они будут совпадать с изобарами (изогипсами). Вектор скорости действительного ветра, особенно в пограничном слое, обычно не параллелен изобарам (изогипсам), и поэтому линии тока действительного ветра пересекают изобары (изогипсы).

Каждому барическому образованию соответствует определенная система действительных ветров и линии тока. Особенно значительно линии тока отклоняются от изобар (изогипс) в приземном слое, в результате чего в этом слое циклоны и ложбины являются областями сходимости воздушных течений, а антициклоны и гребни - областями расходимости.

Если провести линии тока в барической седловине, то можно обнаружить здесь две характерные линии. Одна из них называется осью сжатия, вдоль которой происходит сближение воздушных потоков, а

другая – осью растяжения, вдоль которой воздух оттекает от центральной части седловины.

Линии тока обычно строят путем визуальной интерполяции так, чтоб их густота была пропорциональна скорости ветра.

**Траектория** частицы воздуха представляет собой линию, соединяющую ее последовательные положения за некоторый интервал времени. Траектории и линии тока в барическом образовании совпадают, если барическое поле со временем не меняется, т.е. не смещается, и не испытывает эволюционных изменений. Траектории движения воздушных частиц строят при разработке краткосрочных прогнозов погоды, при разборе неудачных прогнозов, при проведении научных исследований.

По траектории частицы можно определить «откуда» или «куда» перемещается воздушная масса со своими термогигрометрическими свойствами (перенос температуры, точки росы и других аналогичных характеристик). Скорость переноса свойств воздушной массы равна скорости движения воздуха.

На картах АТ за направление переноса частицы воздуха принимается направление изогипсы в направлении ветра, а у поверхности земли – промежуточное направление между изобарой и направлением ветра (линией тока).

Скорость (С) переноса изобар, вихря скорости, циклонов, антициклонов, фронтов, а также изаллогипс как правило, не соответствует скорости ветра, т.е.

$$C=kV, \quad (2.10)$$

где  $k$  – коэффициент, принимающий определенное значение

В этом случае понятие «траектория частицы» теряет смысл и направление перемещения определяется по правилу ведущего потока, под которым понимается устойчивое воздушное течение на уровне 4-6 км.

Обычно значения  $V$  рассматриваются на картах АТ – 700 или АТ – 500. При этом значения  $k$  в формуле в среднем соответственно равны 0,8 для АТ-700 и 0,6 для АТ-500. Однако при одинаковых  $V$  в различные дни величины  $k$  могут существенно отличаться от их средних значений, а направление переноса - от направления изогипс на картах АТ-700 или АТ-500 в начальный срок.

В последних стадиях развития циклонов и антициклонов приземные и высотные центры находятся настолько близко друг к другу, что пользоваться правилом ведущего потока для прогноза перемещения приземных центров затруднительно.

В.И. Бушук предложил под ведущим потоком понимать среднюю векторную сумму поля скоростей всей тропосферы и значительной толщи стратосферы над центральной и передней частью (150-200 км от центра) барических образований.

При построении траектории воздушной частицы на срок менее 12 часов обычно используются карты за один наиболее близкий срок наблюдения. Если траектория строится на период от 12 до 24 часов, то обычно используются карты за два последовательных срока с интервалом 12 часов.

Построение траекторий при синоптическом анализе позволяет решать задачи двух типов:

1. Определить, откуда переместилась воздушная частица в данную точку за промежуток времени  $\Delta t$ . В этом случае траектория откладывается от заданной точки против воздушного течения, за 12 часов по прогностической карте, за последние 12 часов по карте исходного срока.

2. Определить, куда за время  $\Delta t$  переместится воздушная частица, которая в исходный момент времени находится в данном месте. В этом случае траектория откладывается от заданной точки в направлении воздушного течения. Для первой половины срока траектория определяется по исходной карте, а для второй половины - по прогностической карте.

Обе задачи могут иметь диагностический и прогностический смысл.

Адвективные изменения температуры  $\Delta T_{\text{adv}}$  в заданной точке за интервал времени  $\Delta t = t_2 - t_1$  могут быть определены методом траектории по разности температур в исходный момент времени  $t$  в начальной ( $T_n$ ) и конечной ( $T_k$ ) точках траектории, причем заданная точка и является конечной точкой траектории. Таким образом,

$$\Delta T_{\text{adv}} = T_n - T_k \quad (2.11)$$

Для приближенной оценки суммарной адвекции температуры в нижней половине тропосферы используют совмещенную карту  $OT^{500}_{1000}$  и  $AT700$ , которую принято называть картой термобарического поля.

**Понятие вергенции (дивергенции)** применяется при описании воздушных течений и их связи с полем давления. На картах погоды наблюдаются области сходящихся или расходящихся течений воздуха. Каждой точке поля можно приписать определенную положительную (дивергенция), отрицательную (конвергенция) или нулевую величину дивергенции скорости в этой точке. Изучение физики облаков и осадков, эволюция атмосферных фронтов и барических образований невозможно без учета данных о дивергенции воздушных течений.

**Дивергенция вектора скорости**  $\text{div}V$  есть скалярная величина, связанная со скоростью следующим соотношением:

$$\text{div}V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \quad (2.12)$$



где  $u, v, w$ - слагающие скорости ветра по осям  $x, y, z$ . Это означает, что меридиональной скоростью в данной точке называется ее изменение на единицу расстояния по пути воздушной частицы.

Для горизонтального движения уравнение приобретает вид

$$\operatorname{div} \mathbf{V} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.13)$$

С дивергенцией связано накопление или убывание массы воздуха в данной точке пространства. Дивергенция воздушных течений синоптического масштаба – величина малая. Порядок ее значения не превышает  $10^{-6} \text{ с}^{-1}$ . Непосредственный расчет не дает положительных результатов, так как дивергенция – это малая разность сравнительно больших величин, стоящих в правой части. При имеющихся погрешностях в определении составляющих скорости ветра можно ошибиться не только в значении дивергенции, но и в ее знаке.

Другой, широко распространённой характеристикой поля ветра является **вихрь скорости**, каждая составляющая которого описывает тенденцию вращательного движения воздуха вокруг осей  $x, y, z$ . Вращательные движения вокруг осей  $x, y$  при процессах синоптического масштаба малы. Поэтому при изучении таких процессов ограничиваются анализом вертикальной составляющей вихря скорости:

$$\Omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (2.14)$$

Для геострофической модели формула имеет вид:

$$\Omega_z = \frac{9.8}{l} \Delta H, \quad (2.15)$$

т.е. в первом приближении знак вихря скорости может быть оценен по знаку лапласиана геопотенциала или давления.

Таким образом, для центра циклона и на осях ложбин, где лапласиан давления больше нуля, вихрь скорости положительный, в центре антициклона и на осях гребней вихрь скорости отрицательный.

Содержание задания.

1. На картах элементов барического поля провести и надписать изобары (изогипсы). Определить положения центров циклонов и антициклонов, осей ложбин и гребней, гиперболической точки седловины. Провести линии тока в каждой барической системе, указать области, линии и точки сходимости и расходимости ветра, и провести оси растяжения и сжатия в барической седловине.

2.Обработать приземную и высотные карты за 00 (03) ч исходного срока за текущий день.

3.Вычислить скорости геострофического ветра по формулам (2.1,2.4) по приземной синоптической карте и по картам АТ 700, АТ500.

4.Построить траектории движения воздушных частиц на изобарических поверхностях 850,700 гПа за 24 часа используя прогностическую карту.

5.Рассчитать адвективные изменения температуры у поверхности земли за 24 часа в пунктах, указанных преподавателем.

Исходные материалы.

1. Карты элементов барического поля.

2.Карты приземная и высотные (АТ850, 700, 500 и ОТ 500/1000) за текущий день и прогностическая карта на следующие сутки.

Рекомендации по выполнению задания.

1.Линии тока провести в виде тонких сплошных линий простым черным карандашом, в конце линий тока поставить стрелку, указывающую направление переноса.

2.Изобары провести через 5 гПа, изотенденции – через 1 гПа/3ч тонкими прерывистыми линиями. В центрах областей падения давления поставить букву П, в центрах областей роста поставить букву Р. Изогипсы провести через 4 гп.дам (кратные четырем).

3. Адвективные изменения температуры определить по формуле (2.11). Для этого на приземной карте путем интерполяции необходимо определить  $T_n$  в точке С на рис. и  $T_k$  в точке А.

4.Для определения точки откуда придет частица воздуха в заданный пункт А необходимо от пункта А по карте будущего положения (прогностической) или фактической карте АТ850 следующего срока необходимо сместиться против потока параллельно изогипсам на расстояние  $S_2=12 \text{ ч } V_{\text{ср.}}$ , где  $V_{\text{ср.}}$ - средняя скорость переноса на данном участке траектории. Определяется положение точки В. Последняя переносится на исходное, предшествующую карту АТ, и снова выполняется операция определения длины траектории  $S_1=12 \text{ ч } V_{\text{ср.}}$ . Точка С указывает начальное местоположение частицы воздуха, которая через интервал времени  $\Delta t$  сместится в конечной пункт А.

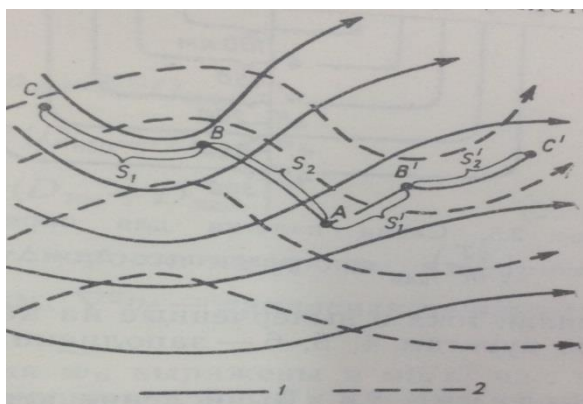


Рис.2.2. Схема графического определения траектории частицы

#### Отчетные материалы.

- 1.Обработанные карты элементов барического поля.
- 2.Проанализированные карты (приземная и высотные).
- 3.Результаты вычисления геострофического ветра, сравнение их с действительным ветром и ветром, определенным с помощью градиентной линейки.
- 4.Траектории воздушных частиц. Результаты расчетов средних по траектории скоростей ветра.
- 5.Результаты расчета адвективных изменений температуры.

#### Контрольные вопросы

- 1.Что характеризуют линии тока на синоптической карте?
- 2.Какие существуют модели связей полей давления и ветра?
- 3.Какая формула лежит в основе построения градиентной линейки?
- 4.Какие задачи решаются путем построения траектории движения воздушных частиц?
- 5.Как рассчитываются адвективные изменения температуры?

### Лабораторная работа № 3

#### Прогноз температуры воздуха приземном слое.

Основными факторами, определяющими изменение температуры в приземном слое в фиксированной точке, являются: перенос воздуха в горизонтальном направлении, вызывающий адвективные изменения; изменение свойств воздушной массы при ее перемещении над неоднородной подстилающей поверхностью (трансформационные изменения); изменение теплообмена с подстилающей поверхностью в

течение суток (изменения температуры и влажности за счет суточного хода).

Прогностическое значение температуры воздуха вычисляется по формуле

$$T=T_0+\delta T_a+\delta T_T+\delta T_{c.x} \quad (3.1)$$

где  $T_0$  – исходное значение температуры;  $\delta T_a$  – адвективное изменение температуры;  $\delta T_T$  – трансформационное изменение температуры;  $\delta T_{c.x}$  – изменение температуры, обусловленное суточным ходом.

Задача прогноза температуры и влажности в приземном слое на 24 ч (в момент времени  $t=t_0+24$ ч) в заданной точке решается следующим образом.

1. Определяют адвективные изменения температуры в заданной точке. Для учета адвекции строят траекторию воздушной частицы и определяют значения температуры  $T_a=T_0+\delta T_a$ , откуда ожидается перемещение воздушной частицы.

В районе начальной точки траектории на исходной приземной карте по данным двух-трех станций находят среднее значение температуры, которое и принимается за прогностическое значение температуры ( $T_a$ ), обусловленное адвекцией.

Построение траектории частицы воздуха производят различными способами в зависимости от характера синоптической обстановки. В области низких подвижных циклонов и антициклонов и на периферии обширных малоподвижных циклонов построение траекторий рекомендуется производить по картам  $AT_{700}$ , считая, что направление перемещения воздушной частицы совпадает с направлением изогипс, а скорость составляет 0,8 от скорости геострофического ветра на уровне 700 гПа.

В области малоподвижных антициклонов при наличии мощных инверсий, распространяющихся от поверхности земли до высоты 1,5 – 2,0 км, прогноз перемещения воздушных частиц в холодное полугодие следует осуществлять по изогипсам карты  $AT_{850}$  (считается, что частица перемещается со скоростью геострофического ветра на этом уровне). В малоградиентных барических полях в холодную половину года лучше оправдывается прогноз перемещения воздушных частиц по полю ветра в приземном слое, а в теплую половину года – прогноз по полю ветра на уровне 1-1,5 км. Во всех случаях при построении прогностической траектории перемещения воздушной частицы на 24 ч необходимо учитывать изменения характера высотного и приземного барических полей во времени. Для этого используют фактическую и прогностическую (на 24 ч) карты.

2. Оценивают трансформационные изменения температуры воздушной массы вдоль траектории переноса.

Трансформационные изменения температуры  $\delta T_T$  определяются главным образом характером теплообмена между воздушной массой и подстилающей поверхностью.

**Трансформационные изменения** – это изменения свойств воздушной массы по пути перемещения частицы под влиянием теплообмена с подстилающей поверхностью. Трансформационные изменения температуры определяются рядом факторов:

- турбулентным обменом;

- радиационным балансом подстилающей поверхности вдоль траектории частиц воздуха, т.е., в основном, изменением количества облачности на этом же участке пути  $\Delta N$ ;

- процессами конденсации, в результате которых величина  $\delta T_{тр}$  изменяется на величину  $\Delta T_{конд.}$

Поскольку притекающий более теплый воздух на своем пути охлаждается, а более холодный нагревается, то изменения температуры, обусловленные влиянием термической адвекции, вследствие трансформации в целом уменьшаются. При ослаблении ветра и уменьшении облачности происходит увеличение величины  $\delta T_T$ , зависящей также от широты места и сезона года.

Расчет трансформационных изменений температуры воздуха на 24 и 36 ч производят по формулам:

$$\begin{aligned}\delta T_{тр24} &= 0,2 \Delta T_{024} \\ \delta T_{тр36} &= 0,2 \Delta T_{036}\end{aligned}\quad (3.2)$$

где  $\Delta T_{024,36}$  – разности значений температуры воздуха в начальный момент времени в конечной и начальной точках траектории т.е. ( $T_k - T_n$ ).

3. При составлении прогноза на период времени, отличный от 24 ч, производят учет изменений температуры за счет ее суточного хода.

Суточный ход в приземном слое определяется изменением в течение суток между температурами соотношения, почва – воздух, который зависит от нагревания почвы днем за счет поглощения солнечной радиации и охлаждения ночью в связи с эффективным излучением.

Суточный ход температуры воздуха при ясном небе зависит также от широты места, коэффициента прозрачности, температуры подстилающей поверхности и альбедо. Орографические условия местности и характер подстилающей поверхности также влияют на суточный ход.

Определенное значение имеют и свойства самой воздушной массы: ее температура, влагосодержание и запыленность.

Для учета суточных изменений строятся эмпирические графики. Их строят не только для тихой и ясной погоды, но и для погоды с различным

количеством облачности при различных типах циркуляции. Эти графики обеспечивают более точный прогноз, так как в них учитывается влияние местных условий. О.П. Глазовой были построены эмпирические графики, рассчитанные для равнины ЕТР. Такие же графики были построены для территории Казахстана (кроме горных районов) для каждого месяца по трем градациям облачности (рис.3.1 и 3.2).

Значение  $\Delta T_{сх}$  определяют по графику для соответствующего месяца с учетом прогноза облачности. Оно равно разности значений температуры в исходный срок (в данном случае 00 ч СГВ) и 15 ч. местного времени, т.е. когда наблюдался максимум температуры воздуха.

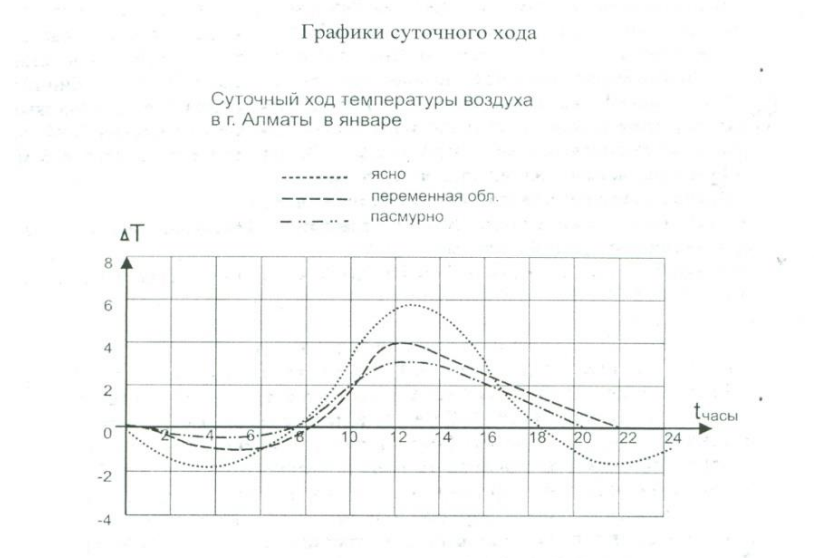


Рис.3.1. График суточного хода температуры в г. Алматы в январе



### Рис.3.2. График суточного хода температуры в Алматы в июле

#### Содержание задания.

1. Дать прогноз температуры воздуха на ночь и день по пункту, указанному преподавателем.

#### Исходные материалы.

1. Приземные и высотные карты за текущий день. Карты АТ 850, АТ 700 следующего дня, которые условно считаются прогностическими.

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. Строятся 24,36 – часовые траектории ожидаемого перемещения воздушной массы в пункт прогноза;

2. По приземной карте погоды определяются значения  $T_0$  и  $T_{adv}$  (24,36);

3. Определяют трансформационные изменения температуры по формулам (3.2);

4. При расчете значений  $\Delta T_{сх}$  предварительно следует дать прогноз облачности на ближайшую ночь и следующий день по следующим градациям:

а) ясно или небольшая облачность,

б) переменная облачность,

в) сплошная облачность

Значения амплитуды суточного хода  $\Delta T_{сх}$  определить по графикам О.П. Глазовой с учетом прогноза облачности.

#### Отчетные материалы.

1. Проанализированные карты

2. Результаты расчета прогностических значений  $T_{мин}$   $T_{макс}$ .

#### Контрольные вопросы.

1. Назовите основные факторы, определяющие изменение температуры в локальном пункте ( в локальной точке или конкретном пункте).

2. От каких факторов зависят трансформационные изменения температуры воздуха?

3. При прогнозе на какой период времени производят учет суточного хода температуры воздуха.

4. Назовите основные факторы определяющие изменение суточного хода температуры воздуха.

5. Как строятся эмпирические графики для прогноза суточного хода температуры воздуха?

## **Лабораторная работа №4**

### **Анализ атмосферных фронтов**

#### 1. Общие понятия об атмосферных фронтах.

Наряду с однородными воздушными массами в атмосфере всегда отмечаются узкие переходные зоны, получившие название фронтальных разделов или фронтов.

**Атмосферный фронт** – узкая переходная зона между воздушными массами, характеризующаяся резкими изменениями метеовеличин в горизонтальном направлении, различающаяся по протяженности, особенностям перемещения, вертикального и горизонтального строения и условиям погоды. Ширина этих переходных зон у земной поверхности в среднем около 50 км. Особые условия погоды, резко отличающиеся от погоды в однородных воздушных массах, наблюдаются в широкой полосе, вытянутой вдоль фронта. Размеры переходной зоны связаны с конвергенцией потоков, а ширина зоны фронтальной погоды зависит еще и от контрастов температуры воздушных масс, распределения в них влажности, наклонов фронтальной поверхности и ряда других характеристик.

В зависимости от направления и скорости движения фронты разделяются на теплые, холодные, фронты окклюзии и малоподвижные.

**Холодным** называется фронт, движущийся в сторону теплого воздуха.

Холодные фронты делятся на фронты I и II-го рода.

**Холодными фронтами I-го рода** называется фронты, с которыми связаны облачные системы Ns. As. Cs. Ci, напоминая зеркальное отражение системы облаков ТФ, и зафронтальные зоны обложных осадков.

Это чаще всего медленно перемещающиеся фронты.

Теплые массы, расположенные перед ними, стратифицированы устойчиво.

Холодными фронтами I-го рода являются те участки их, которые расположены вблизи центра в начальной стадии зарождения циклона или на его крайней периферии, где малы нормальные к фронту составляющие ветра в холодном воздухе. Перемещение холодного фронта I-го рода осуществляется преимущественно за счет конвергенции трения в пограничном слое.

Клин холодного воздуха как бы подползает под теплую воздушную массу, которая натекает на этот клин, образуя зафронтальную систему облаков и зону обложных осадков (рис.4.1).



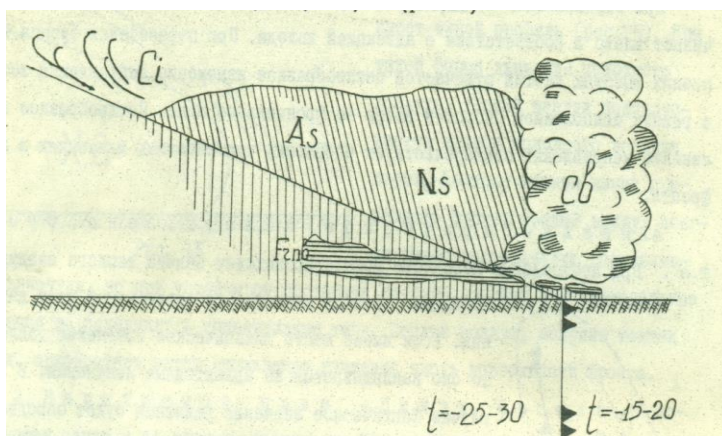


Рис.4.1. Схема облаков холодного фронта I рода

Непосредственно перед фронтом могут наблюдаться облака типа Сб, так что ливневые осадки с прохождением линии фронта переходят в обложные, но вблизи центра зарождающегося циклона обложные осадки наблюдаются как перед фронтом так и за ним. По мере удаления от центра циклона холодный фронт первого рода превращается в холодный фронт II-го рода.

**Холодными фронтами II-го рода** называется такие, с которыми связаны предфронтальные облака кучево-дождевых форм и предфронтальные зоны ливневых осадков в виде узкого вала. Это чаще всего быстро перемещающиеся фронты. Теплые массы, расположенные перед ними стратифицированы неустойчиво. Холодными фронтами II-го рода являются участки фронтов, расположенные в зоне сильных ветров, с большой нормальной составляющей скорости к линии фронта в холодной воздушной массе (рис.4.2).

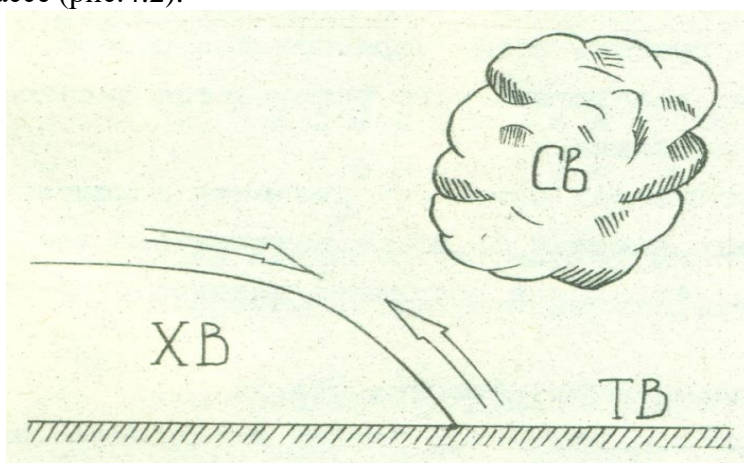


Рис.4.2. Схема облаков холодного фронта II-го рода.

При растекании Сb могут образовываться в небольшом количестве Сi, Сс, Ас, Sc, а под ними в зоне выпадающих ливневых осадков обычно наблюдаются Stfr или Cufg плохой погоды.

Скорость перемещения холодных фронтов не определяет их деления на фронты I-го и II-го рода. При устойчивой стратификации воздуха и быстро движущиеся фронты могут не сопровождаться развитием Сb. В этом случае они будут фронтами I-го рода. При неустойчивой стратификации воздуха Сb могут развиваться и при медленном движении фронта. В этом случае и медленно движущейся фронт будет фронтом II-го рода. Основным отличием холодных фронтов I-го рода от II-го рода является система облаков и осадков.

**Теплым** называется фронт, движущийся в сторону холодного воздуха.

Система облаков ТФ располагается преимущественно перед приземной линией фронта вдоль клина холодной воздушной массы, что соответствует зоне наиболее интенсивных восходящих движений теплого воздуха (рис.4.3).

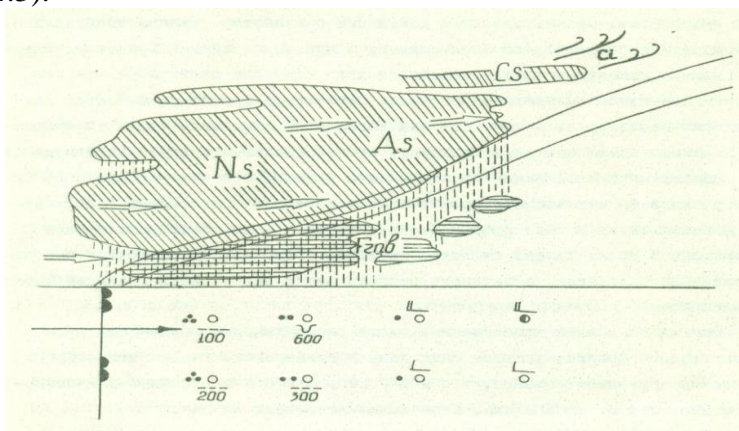


Рис.4.3. Схема облаков теплового фронта.

Основными составляющими этой системы являются облака Ci-Cs и As-Ns, под которыми обычно наблюдаются разорванные облака Stfr, особенно в зоне выпадающих обложных осадков. На нижних уровнях, где температура относительно высокая и влагосодержание воздуха большое, развиваются слоисто-дождевые облака. На более высоких уровнях, при низких температурах и малом влагосодержании развиваются облака перистых форм.

**Фронтами окклюзии** называются фронты, образующиеся за счет слияния теплого и холодного участков одного фронта. Причиной их слияния является различие скоростей перемещения холодного и теплого фронтов в процессе развития циклона. Холодный фронт движется быстрее

теплого, поэтому теплый сектор сужается, а окклюдированный теплый воздух с поверхности земли перемещается на высоты, циклон при этом заполняется холодным воздухом, а длина участка фронта окклюзии увеличивается.

В зависимости от соотношения температур воздушных масс по обе стороны фронта различают теплые и холодные фронты окклюзии, а также нейтральные.

Фронт окклюзии разделяет предфронтальный и зафронтальный холодный воздух. Так как воздух различных секторов циклонов перемещается по разным физико-географическим районам и погодные условия передней и тыловой частей циклона неодинаковы, то холодный воздух передней и тыловой части претерпевают разную степень трансформации.

Если холодный воздух тыловой части циклона теплее холодного воздуха передней части, то фронт называется окклюзией по типу ТФ (ТФО) (рис.4.4).

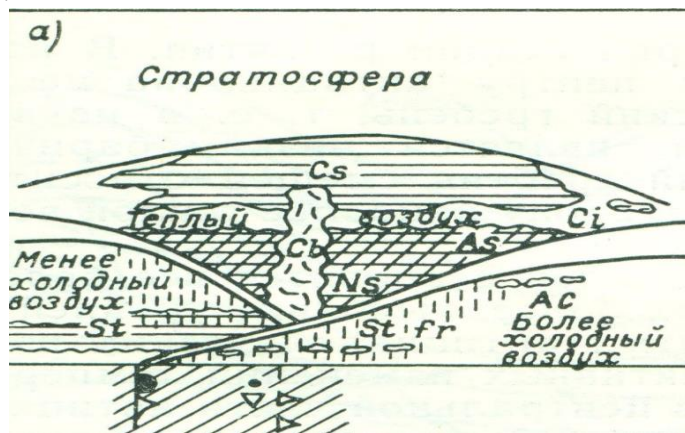


Рис.4.4. Схема облаков теплого фронта окклюзии (ТФО).

Так как наиболее теплые воздушные массы перемещаются на высоты, помимо приземной линии фронта имеется линия верхнего холодного фронта, проекция которого на плоскость приземной карты располагается впереди линии ТФО.

Теплые фронты окклюзии на территории ЕТР, Западной Сибири и Казахстана чаще наблюдаются в холодное полугодие, когда зафронтальный воздух, поступающий с Атлантического океана, теплее предфронтального континентального воздуха.

Если холодный воздух в тыловой части циклона холоднее, чем в передней, то фронт называется окклюзией по типу ХФ (ХФО) (рис.4.5).

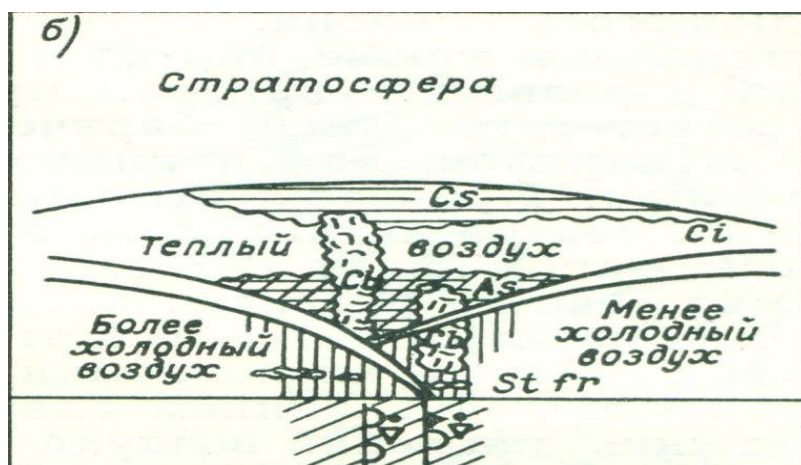


Рис.4.5. Схема облаков холодного фронта окклюзии (ХФО).

Имеется также линия верхнего фронта, проекция которого на плоскость приземной карты располагается позади линии ХФО (верхний теплый фронт).

ХФО более типичный для лета, когда соотношение температур между морем и континентом обратное.

**Нейтральный фронт окклюзии** – это фронт по обе стороны которого температуры воздуха примерно одинаковые.

## 2. Синоптический анализ атмосферных фронтов

С деятельностью фронтов, в зоне которых наблюдается наибольшая концентрация энергии циркуляции и часто происходят интенсивные восходящие движения, в значительной мере связаны процессы образования и развития облачности и осадков. Наиболее резкие изменения погоды в том или в другом районе совершаются при прохождении фронтов. Однако установить точное расположение фронтов задача чрезвычайно трудная, поэтому анализ фронтов, прогноз их развития и перемещения занимает одно из центральных мест в общем синоптическом анализе развития атмосферных процессов и в практике прогноза погоды.

Известно, что комплексность, трехмерность и историческая последовательность анализа являются основными принципами синоптического метода. Так и анализ фронтов и фронтальных зон основывается на совместном использовании метеорологической и аэрологической информации за текущий и предшествующий сроки.

Наиболее надежно положение и структуру фронтов можно определить, если при анализе фронтальных разделов используются данные как синоптических карт (приземных и высотных), так и аэрологических

диаграмм и пространственных вертикальных разрезов атмосферы, а также при наличии и данных радиолокационных наблюдений.

Абсолютно необходимым условием успешности фронтологического анализа является использование снимков облачности с искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Основным фронтам на картах АТ700, АТ500, ОТ500/1000 соответствуют зоны сгущения изогипс, т.е. зоны с большими барическими градиентами (ВФЗ). При этом теплый фронт располагается в тыловой части высотной ложбины (соответственно барической и термической), а холодный –сдвигается к передней части следующей высотной ложбины. Фронтальные разделы располагаются на антициклонической периферии ВФЗ.

Наиболее объективным признаком наличия фронтальных разделов является наличие большого контраста температуры в соседствующих воздушных массах. Поэтому в качестве основного признака при проведении фронта на картах барической топографии принимают наибольший контраст температуры.

Главные фронты всегда довольно хорошо выражены в поле температуры на карте АТ850, часто – на АТ700 и иногда - на АТ500.

Анализ фронтов должен быть физически обоснован и должен логически вытекать из предшествующего развития процессов. Несоблюдением принципа исторической последовательности анализа объясняется большинство ошибок при проведении фронтов.

Уровень поверхности 850 гПа (1,5 км) достаточно удален от подстилающей поверхности, поэтому контрасты температуры здесь обычно выражены значительно ярче, чем на приземных картах погоды. Ветровой режим на этой поверхности в умеренных и высоких широтах достаточно близок к геострофическому ветру. На уровне около 1,5 км значения дефицита точки росы позволяют выявить области, занятые сухими и влажными воздушными массами. Все это способствует анализу фронтальных разделов, поэтому анализ фронтов начинают с проведения их на карте АТ850.

Положение фронтов здесь определяется путем совместного анализа полей температуры, влажности и ветра.

На уровне АТ850 фронт, также как у Земли, лежит вдоль оси ложбины, а если фронт хорошо выражен по вертикали, то он лежит в ложбине и на АТ700.

Основные признаки:

а) поле температуры воздуха.

Фронт лежит вдоль зоны больших контрастов температуры и при этом проходит там, где эти контрасты наиболее велики. При существующей относительно редкой сети аэрологических станций не все участки фронта можно проследить по контрасту, поэтому вначале анализируется поле изотерм, которые в подавляющем большинстве

случаев позволяют достаточно точно определить положение фронтального раздела.

Фронт располагается в зоне сгущения изотерм, при этом основное сгущение изотерм наблюдается со стороны холодного воздуха, т.е. фронт лежит на периферии области тепла и в целом направлен вдоль изотерм.

Таким образом, теплomu сектору на АТ850 соответствует гребневой изгиб изотерм, а за холодным фронтом изотермы имеют циклонический изгиб.

б) поле влажности.

В поле влажности фронт на картах АТ 850 и АТ 700 обычно характеризуется или меньшими значениями дефицита точки росы или повышенными значениями точки росы.

Влагосодержание воздуха в воздушных массах, разделяемых фронтом, различно, т.е. в зоне фронта должен прослеживаться контраст (пусть даже небольшой) значений влажности. Причем обычно фронт располагается вблизи границы зоны с малыми значениями дефицита точки росы таким образом, что более влажный воздух совпадает с зоной осадков.

в) в поле ветра.

Вблизи фронта обычно наблюдаются зоны увеличенных скоростей ветра или резкое усиление ветра на отдельных станциях. Зачастую в зоне фронта происходит резкое изменение направления ветра – ветер делает правый поворот.

С большой уверенностью фронт на АТ850 может быть проведен тогда, когда кроме поля изотерм его существование подтверждает и какой-либо еще из указанных выше признаков.

Проведение фронтов на приземной карте.

1. Исходя из предварительного анализа положения ВФЗ на ОТ500/1000 и учитывая историческую последовательность анализа, составляется суждение о том, где (в каких районах) в данный срок должен находиться атмосферный фронт.

2. По признакам приземной карты (барическое поле, распределение ветра, температуры, облачных систем и зон осадков, поле изотенденций) в намеченном районе проводят фронтальные линии. Одновременно при этом используются все дополнительные материалы, имеющиеся у синоптика.

В результате этой работы должно быть определено не только положение фронтов, но и их характер, вертикальная структура, динамическая значимость.

Примечания:

1) часто вследствие изменения циркуляции создаются условия, приводящие к формированию новых фронтов, что может быть выявлено по разрыву в полях метеорологических величин. В таких случаях

необходимо проверить анализ за предыдущий срок, чтобы выявить, новый это фронт или же он не был замечен на предыдущей карте;

2) так как фронты подвержены непрерывной эволюции, необходимо выявить, какие фронты в данное время размываются, а какие обостряются, и обозначить это соответствующими значками на линии фронта;

3. Положение фронтов у земли должно быть согласовано с их положением на высоте. Для этого приземная линия фронта увязывается с линией фронта, проведенной на карте АТ850.

В связи с наклоном фронтальной поверхности географическое положение линии фронта с высотой постепенно меняется, ширина теплого сектора увеличивается, а вершина теплого сектора или точка окклюзии оказывается все более смещенной в сторону холодного воздуха, соответственно длина фронта окклюзии с высотой уменьшается.

Расстояние на которое смещается фронт с высотой, определяется углом наклона фронтальной поверхности. Чем меньше угол наклона, тем больше смещена приземная линия фронта относительно высотной в сторону теплой воздушной массы.

В случае очень пологого фронта (или имеет место пленка холодного воздуха) фронт у земли может быть смещен по отношению к фронту на АТ850 на несколько сот километров. К примеру, при  $tg=0,01$  смещение на АТ850 составляет 150 км.

Приземная линия фронта с максимально большой точностью переносится на карту ОТ500/1000 (при помощи светового столика или по географическим ориентирам) и укладывается в поле изогипс ОТ 500/1000.

Основные положения:

1. В целом изогипсы должны расположиться приблизительно параллельно линии фронта у поверхности Земли и зона наибольшего сгущения изогипс (зона наибольших градиентов Н500/1000) при этом должна быть сдвинута в сторону холодного воздуха.

2. Теплому сектору должен соответствовать гребень тепла, особенно четко выраженный в случае фронта окклюзии. За холодным фронтом – часто очаг холода или четко выраженная ложбина холода.

Недопустимо, чтобы в районе теплого фронта ВФЗ имела циклонический изгиб, а холодный фронт оказался в поле антициклонически изогнутых изогипс.

Недопустимо, чтобы в районе теплого сектора или, тем более, фронта окклюзии располагалась ложбина холода.

В зоне теплого фронта обычно наблюдается рост относительного геопотенциала, за холодным фронтом – уменьшение толщины слоя.

3. Степень параллельности фронтов изогипсам Н500/1000 зависит от ряда причин, и лишь стационарные фронты лежат параллельно изогипсам на всем своем протяжении. Обычно:

- степень параллельности фронтов и изогипс зависит от стадии развития тех барических образований, в области которых располагается фронт;

- изогипсы относительного геопотенциала в циклонических областях сдвигаются в сторону теплого воздуха, а в антициклонических – в сторону холодного воздуха, т.к. восходящие вертикальные движения воздуха в циклоне понижают среднюю температуру воздуха в слое, а нисходящие в антициклоне –повышают её.

4. На ширину зоны больших температурных градиентов влияет наклон фронта. Чем больше угол наклона фронта, тем эта зона уже. Поэтому зона сгущения изогипс на карте ОТ 500/1000 перед теплым фронтом чаще бывает более широкой, чем за холодными фронтами.

### Условия волнообразования на фронтах

Фронтальные волны обычно возникают в области медленно смещающихся холодных фронтов. Реже волны возникают на теплых фронтах. На фронтах, расположенных в параллельных им потоках, как правило, волновые возмущения возникают под влиянием местного изменения направления ветра, связанного с особенностями рельефа.

Признаками наличия фронтальной волны являются:

1) образование сильно вытянутой V-образной барической ложбины вдоль фронта или у точки окклюзии;

2) волнообразный изгиб фронта обращен выпуклостью в сторону холодного воздуха и ветер в теплом воздухе у поверхности земли параллелен линии фронта или имеет направленную к ней слагающую;

3) характерное распределение барических тенденций, то есть наличие компактной области падения давления в передней части волны или резко уменьшенного по сравнению соседними участками роста давления, и области роста в ее тыловой части;

4) возникновение на поверхности 850 гПа самостоятельной, не большой по размерам области повышенных значений точки росы. Она расположена непосредственно над волной или немного сдвинута в сторону теплого воздуха. Ее появление вызвано интенсивными восходящими движениями воздуха, возникающими при образовании волны;

5) появление зарегистрированного метеорологическим спутником расширенного в сторону холодного воздуха участка облаков на полосе фронтальной облачности.

### Содержание задания.

1. Провести комплексный анализ воздушных масс и фронтальных разделов по картам текущего срока.

2. Выяснить положение фронтальных разделов на приземной карте погоды и картах АТ850, ОТ500/1000.



3. При анализе необходимо выявить зоны, занятые влажными и сухими воздушными массами.

Исходные материалы.

1. Приземные карты погоды, карты барической топографии за 00 ч (карты ОТ 500/1000, АТ850, АТ700, АТ500).

Рекомендации по выполнению задания.

1. Работу над этим заданием следует начать с анализа карты ОТ 500/1000 за 00ч. Проводят изогипсы и устанавливают положение холодных и теплых воздушных масс, а также фронтальной зоны с достаточно большими контрастами температур.

2. На карте АТ850 находят положение основных фронтов, после чего переходят к анализу приземной карты.

3. Обрабатывают карты АТ700, АТ500 за 00ч.

Отчетные материалы.

1. Проанализированные карты: приземная, АТ850, АТ700, АТ500, ОТ500/1000.

2. На карте ОТ500/1000 указывается положение фронта у земли.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определения атмосферного фронта.

2. Перечислите типы атмосферных фронтов.

4. Какое барическое поле на приземной карте в типичных случаях теплых, холодных фронтов и фронтов окклюзии?

5. Каково поле барических тенденции у этих же фронтов?

6. Нарисуйте схему облаков и осадков теплых, холодных фронтов и фронтов окклюзии.

### **Лабораторная работа №5 Анализ возникновения и развития циклона**

Циклоны и антициклоны являются основными барическими системами, выявляемыми на картах погоды, а прогноз их возникновения, развития и перемещения имеет первостепенное значение для прогноза погоды.

Возникновение и развитие внетропических циклонов тесно связано с ВФЗ и струйными течениями, которые обладают огромными запасами энергии. Обычно развивающиеся циклоны зарождаются на антициклонической стороне струйного течения (справа от оси) и лишь в процессе развития переходят на циклоническую сторону. Признаком возможного образования циклона у поверхности земли служат отрицательные барические тенденции в области малоподвижных участков

основных фронтов и у точек окклюзии. Оценивая возможность возникновения циклона, необходимо обращать внимание на характер приземного барического поля. Наиболее часто циклоны образуются на тех участках осей сильно вытянутых ложбин, где наблюдается резкое уменьшение барического градиента, а также в полосе пониженного давления между двумя антициклонами. Если рассматривать жизнь циклона от возникновения до исчезновения, то можно выделить следующие стадии его развития:

- 1) начальная стадия;
- 2) стадия молодого циклона;
- 3) стадия максимального развития;
- 4) стадия заполнения.

Циклон в каждой стадии развития характеризуется своеобразной трехмерной структурой и особыми условиями погоды.

Обычно в процессе развития циклон превращается из низкого подвижного асимметричного барического образования в высокое малоподвижное образование с почти вертикальной пространственной осью.

*Начальная стадия развития циклона.* На этой стадии на фронте возникает волнообразный изгиб, связанный с образованием области пониженного давления. С высотой циклоническое возмущение быстро ослабевает, и уже на уровнях 700 и 500 гПа над вершиной волны у поверхности земли наблюдается широкая зона сгущения изогипс, имеющих обычно волновой изгиб. Над передней частью приземного возмущения располагается небольшой барический гребень, а над тыловой – неглубокая ложбина. Центр циклона находится под дельтой ВФЗ. Зона наибольшего сгущения изогипс от 500/1000 несколько смещена относительно центра возмущения в холодную его часть и образует слабовыраженный гребень тепла над центральной частью и ложбину холода над тыловой частью возмущения у поверхности земли.

На рис. 1. представлено типичное термобарическое поле тропосферы над циклоном в начальной стадии развития. Анализ взаимного расположения изогипс АТ 700 и ОТ 500/1000 позволяет обнаружить области адвекции холода в тыловой части возникшего циклона и адвекции тепла в передней его части, при этом линия нулевой адвекции проходит через центр возмущения.

*Стадия молодого циклона* (стадия усугубления циклона). В этой стадии число замкнутых изобар в циклоне у поверхности земли возрастает, давление в центре циклона заметно понижается и увеличиваются барические градиенты. В циклоне появляется хорошо выраженный теплый сектор. Циклонический вихрь распространяется вверх, и, как правило, на поверхности 700 гПа уже имеется самостоятельный центр низкого давления, смещенный по отношению к приземному в сторону холодного

воздуха. Центр циклона находится под дельтой ВФЗ. В высотном барическом поле ложбина над тыловой частью и гребень над передней частью приземного циклона выражены лучше, чем в первой стадии. Изогипсы относительного геопотенциала образуют гребень тепла над приземным циклоном и ложбину холода над его тыловой частью. Зона сгущенных изогипс на  $OT^{500}_{1000}$  по-прежнему несколько смещена относительно приземного центра циклона в его холодную часть. Центр молодого циклона обычно располагается справа от оси струйного течения. Распределение областей адвективных изменений температуры в молодом циклоне мало отличается от распределения их в начальной стадии. Однако происходит усиление адвекции тепла в передней части циклона и адвекции холода в тыловой части. Такая структура термобарического поля тропосферы благоприятствует падению давления в передней и центральной частях молодого циклона и росту давления в его тыловой части.

*Стадия максимального развития циклона.* Эта стадия – стадия наибольшей глубины циклона на приземной синоптической карте, после которой обычно начинается его заполнение. Начало стадии совпадает с моментом окклюдирования циклона. У поверхности земли циклон характеризуется большим числом замкнутых изобар с еще большими барическими градиентами. В связи с окклюдированием циклона распределение температуры в его центральной части в приземном слое менее ассиметрично. Циклон становится высоким барическим образованием. Его центр в свободной атмосфере несколько смещен в сторону холодного воздуха. Гребень тепла на карте  $OT^{500}_{1000}$  становится более узким и смещается в переднюю часть циклона. Тыловая ложбина холода располагается ближе к центру наземного циклона. ВФЗ с большими горизонтальными градиентами температуры и давления смещена на периферию циклона в сторону теплого воздуха. Адвекция вихря скорости приводит к значительному падению давления у точки окклюзии, где проходит фронтальная зона и наблюдаются наиболее значительные скорости ветра. В связи с отходом фронтальной зоны на периферию циклона области наибольших адвективных изменений температуры тоже смещаются на периферию. Линия нулевой тенденции проходит вблизи центра циклона.

*Стадия заполнения циклона.* Заполнение циклона начинается у поверхности земли. Циклонический вихрь выражен до больших высот и часто распространяется на нижнюю часть стратосферы. Холодные массы воздуха заполняют уже всю центральную часть циклона, и постепенно происходит почти полное совмещение приземного и высотного барических центров с центральной частью области холода. Изогипсы АТ и ОТ располагаются почти параллельно. Адвективные изменения температуры и давления в области циклона весьма малы.

Адвекция вихря скорости заметного влияния на изменение давления в центре циклона на этой стадии не оказывает. Происходит рост давления вследствие конвергенции ветра в слое трения; циклон у поверхности земли быстро заполняется. Заполняющиеся циклоны иногда претерпевают регенерацию, т. е. Начинают вновь углубляться. Регенерация циклонов происходит при следующих основных процессах: 1) при вхождении в систему циклона нового основного фронта; 2) при развитии вблизи центра циклона нового и при последующем слиянии обоих центров (9).

#### Содержание задание

1. Провести анализ синоптического положения по картам погоды за период с 00ч 14.04.1979 г. по 00ч 17.04.1979 г.

2. Обратить особое внимание на структуру и условия развития циклона с центром в районе Хельсинки.

#### Исходные материалы

1. Карты: приземная, АТ-850, АТ-700, АТ-500 и  $OT^{500}_{1000}$  за период с 00ч 14.04.1979 по 00ч 17.04.

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. На картах за 00ч 14.04. уже проведены изобары и изогипсы для облегчения самостоятельного анализа последующих карт. Провести дополнительную обработку, линия атмосферных фронтов обвести цветными карандашами в соответствии с типом фронта.

2. При проведении линий фронтов на картах за последующие сроки необходимо обращать внимание на весь комплекс признаков фронта и различие условий погоды в ВМ, разделяемых фронтом. Положение фронтов на приземной карте необходимо согласовать с данными карты  $OT^{500}_{1000}$ , а также соблюдать принципы исторической последовательности при проведении фронтов.

3. Рассмотреть изменение давления в циклоне и погодных условий от срока к сроку.

4. Рассмотреть развитие анализируемого циклона, изменение его вертикальной структуры, угла наклона высотной оси, положения ВФЗ по отношению к центру циклона у земли.

5. Сопоставить между собой величины адвекции тепла в передней части и холода в тыловой. Обратить внимание на изменение положения линии нулевой адвекции по отношению к центру циклона, интенсивности изаллобарических очагов.

6. Рассмотреть положение очага холода на карте  $OT^{500}_{1000}$  относительно приземного центра циклона.

#### Отчетные материалы

1. Проанализированные карты погоды.

2. Описание условий погоды в различных частях циклона на разных стадиях его развития.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите стадии развития циклона.
2. На каких фронтах чаще всего образуются циклоны?
3. На какой стороне струйного течения зарождаются циклоны?
4. С какими объектами синоптического анализа связано возникновение и развитие внетропических циклонов?
5. При каких условиях происходит регенерация циклонов?

### **Лабораторная работа №6** **Общая типизация синоптических процессов** **Синоптические процессы, приводящие к значительным** **похолоданиям и потеплениям в Казахстане.**

Успех работы синоптика, особенно в условиях сложной подстилающей поверхности, во многом зависит от того, насколько обстоятельно изучена природа мезометеорологических процессов, которые формируются в данном районе при более масштабных синоптических процессах.

В практике прогнозирования всегда выделяются типовые синоптические процессы, которые в основе своей определяют преобладающую погоду. Эти крупномасштабные процессы рассматриваются как доминирующие из большого многообразия. Важно при этом, насколько полно изучены уровни интенсивности типовых синоптических процессов, вызывающие различия условий погоды вплоть до возникновения опасных явлений погоды (ОЯ). Особое значение придается заблаговременному прогнозу стихийных гидрометеорологических явлений (СГЯ) при типовых, но аномальных по интенсивности синоптических процессах.

Особенности атмосферных процессов, обусловленных влиянием подстилающей поверхности различного масштаба, форм и свойств и конкретные их проявления в определенных географических условиях в целях совершенствования региональных и локальных прогнозов погоды изучает региональная синоптика.

Под влиянием подстилающей поверхности, особенно в горах, синоптические процессы претерпевают существенные пространственно-временные изменения по сравнению с теми, которые наблюдаются над относительно равнинной подстилающей поверхностью. Развитие барических образований протекает более сложно. Некоторые закономерности проявляются слабо, особенно перенос тепла и влаги в

пограничном слое. Под влиянием региональных особенностей подстилающей поверхности в одних районах чаще возникают циклоны, в других – антициклоны. В некоторых районах длительное время сохраняются квазистационарные условия барического поля и погоды. Например, сибирский антициклон зимой в Казахстане.

Одним из важных направлений региональной синоптики является разработка методов прогнозирования с целью повышения качества метеорологического обеспечения отраслей экономики Казахстана.

Наиболее тщательно изучены синоптические процессы Средней Азии, которые подробно описаны в монографии, выпущенной группой узбекских ученых (В. А. Бугаев., В.А. Джорджио., М.А. Петросянц и др.). Ими выделено 12 типов синоптических процессов Средней Азии:

1. Южно-каспийский циклон
2. Мургабский циклон
3. Верхне-Амударьинский циклон
4. Широкий вынос теплого воздуха
5. Северо-западное холодное вторжение
6. Северное холодное вторжение
7. Волновая деятельность на юге и юго-востоке Ср. Азии
8. Малоподвижный циклон над Средней Азией
9. Юго-восточная периферия антициклона над Ср.Азией
- 9а. Юго-западная периферия антициклона над Ср.Азией
10. Западное вторжение
11. Летняя термическая депрессия.

В основу типизации синоптических процессов на территории Казахстана положены траектории перемещения антициклонических образований в нижних слоях тропосферы относительно рассматриваемой территории.

Учеными КазНИГМИ совместно с синоптиками Бюро погоды выделено пять вариантов синоптических процессов, объединённых в три основных типа синоптической циркуляции:

1. Западное вторжение
2. Северо-западное вторжение (европейский и азиатский варианты)
3. Северное вторжение (ультраполярный европейский и азиатский варианты)

Другие синоптические процессы, характерные для Казахстана, такие как выход южных циклонов, волновая деятельность на юго-востоке Казахстана и другие, рассматриваются в пределах принятой типизации.

В качестве синоптического процесса, приводящего к похолоданиям в Казахстане рассмотрим: северо-западное холодное вторжение (европейский и азиатский вариант), северное холодное вторжение (европейский и азиатский вариант) и синоптического процесса, приводящего к потеплению зимой: выход Южно-Каспийского циклона.

### Северо-западное вторжение

**Северо-западным холодным** вторжением называется такой синоптический процесс, при котором арктические или умеренные воздушные массы проникают на территорию Казахстана и Средней Азии с северо-запада через юго-восточную часть ЕТР.

Вторжение вызывает похолодание, сильные ветры, осадки, пыльные бури и ряд других опасных явлений погоды. После теплой малооблачной погоды, наблюдавшейся перед вторжением наступает общее её ухудшение. Резкие ухудшения погоды характерны для отчетливо выраженных вторжений. В случаях, когда процесс протекает недостаточно интенсивно, облачность холодного фронта, а также облака внутримассового происхождения не получают интенсивного развития и осадки могут отсутствовать, что особенно характерно для летних вторжений, когда облачность и осадки достигают значительных размеров в восточной и юго-восточной – горной части территории Казахстана, а прохождение холодного фронта по пустынным районам зачастую протекает при безоблачном небе, сопровождаясь лишь усилением ветра и пыльными бурями. На равнинах летние трансформационные процессы оказывают сильное размывающее действие на фронтальную систему облаков, тогда как в горной части территории имеет место эффект орографического обострения. Увеличению облачности и осадков в горах летом способствует также усиление неустойчивой стратификации вторгающихся масс, являющееся результатом развития конвективных токов над горным хребтом. Орографическое воздействие на фронты вторжения оказывается во все времена года.

Слабо выраженные вторжения не вызывают сильных ветров и других резких изменений погоды. Однако похолодание разной степени интенсивности – неперемный результат любого северо западного вторжения. Половина весенних и осенних заморозков в Казахстане итог северо западных вторжений.

Для европейского северо западного вторжения характерно–перемещение антициклонических барических образований с северо – западных районов ЕТР на районы нижней Волги и Каспийского моря. При этом большая часть Казахстана находится под влиянием циклонической деятельности (рис.6.1.).

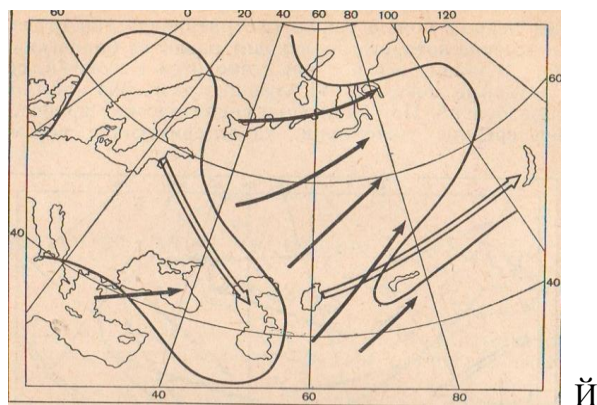


Рис.6.1. Схема синоптических процессов при северо–западных европейских вторжениях.

Траектория антициклона при северо – западных азиатских вторжениях проходит со Скандинавии на Центральный Казахстан. Над Северным Казахстаном и Западной Сибирью развивается циклоническая деятельность (рис.6.2.).

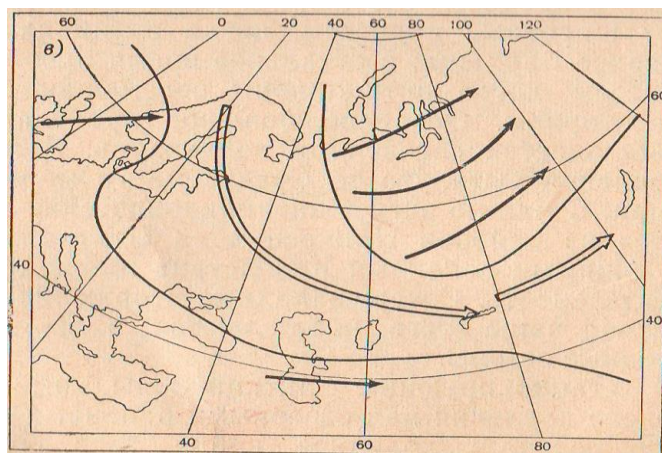


Рис.6.2. Схема синоптических процессов при северо –западных азиатских вторжениях.

Северо-западные холодные вторжения принадлежат к числу часто наблюдающихся синоптических процессов в Казахстане. Наибольшая их повторяемость приходится на теплое полугодие (май-октябрь).

### Северное вторжение

**Северным холодным вторжением** называется синоптический процесс, при котором арктический воздух или воздух умеренных широт проникает в Казахстан с севера и северо-востока, через Урал и западную Сибирь.



Синоптические процессы при Северных вторжениях протекают довольно разнообразно. Холодные фронты, перемещающиеся с севера, в равнинных районах в большинстве случаев не вызывают осадков, а при подходе к горным хребтам либо обостряются и вызывают осадки, либо проходят без осадков и вызывают резкое понижение температуры.

В осенние и весенние периоды наблюдаются заморозки, часто усиливающиеся за счет радиационного выхолаживания.

Поскольку Казахстан занимает довольно большую территорию выделяется два варианта северных вторжений:

- А) ультраполярное европейское
- Б) ультраполярное азиатское.

При ультраполярных европейских вторжениях антициклоны из районов Новой Земли смещаются на ЕТР. Происходит выход южных циклонов из районов Черного и Красных морей. Схема развития ультраполярного европейского вторжения представлена на рис.6.3.

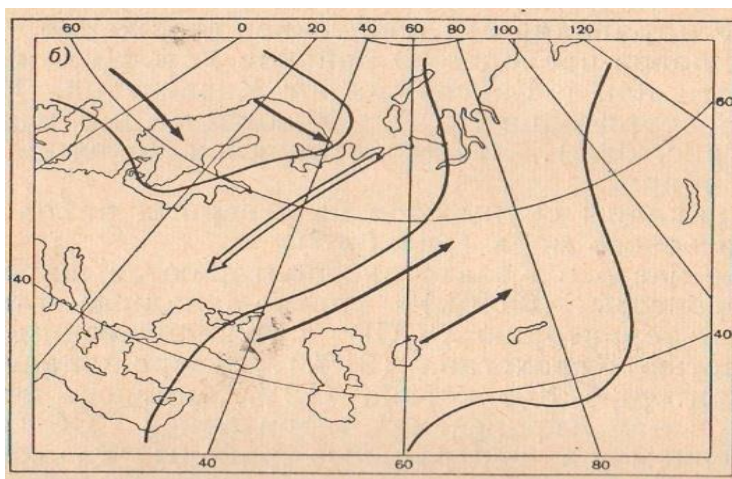


Рис.6.3. Схема синоптического процесса при ультраполярных европейских вторжениях.

При ультраполярных азиатских вторжениях антициклоны смещаются как из северных районов Урала на районы Аральского моря (рис.6.4 б) так и из центральных районов Западной Сибири на среднее течение Волги (рис.6.4 а) или Енисея на юг Казахстана. Над Западном ЕТР и северной Европой при азиатском типе северного вторжения наблюдается циклоническая деятельность.

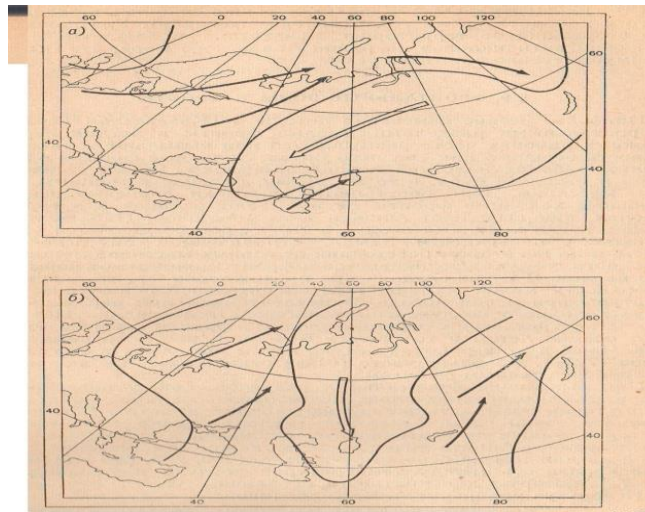


Рис.6.4. Схема синоптического процесса при ультраполярном азиатском вторжении.

Северные вторжения наблюдаются в среднем в 2 раза реже, чем северо - западные.

Больше всего северные вторжения отмечаются в июле месяце при самых высоких температурах. В августе их становится меньше, но зато увеличивается их продолжительность. В остальные месяцы повторяемость северного вторжения колеблется в небольших пределах (2-3 суток за месяц).

### **Южно-каспийский циклон**

Прорывом **южно-каспийского циклона** называется такой синоптический процесс, при котором циклон появляется над южной частью Каспийского моря или несколько восточнее и в течение 1,5-2 суток пересекает Среднюю Азию в северо-восточном направлении. При этом процессе у поверхности Земли чаще всего обнаруживается теплый сектор в ложбине, реже в циклоне, который в момент появления очерчен на карте погоды одной-двумя замкнутыми изобарами.

Южно – каспийский циклон зарождается над восточной частью Средиземного моря или Месопотамией, переваливает через горы и на территории Казахстана появляется на юге Каспия. Циклон всегда имеет теплый сектор, образованный воздушной массой тропического происхождения с низкой относительной влажностью. Поэтому большая часть резких потеплений зимой и ранние весенние паводки на реках связаны с прорывом Южно – каспийских циклонов. На территории Казахстана в зимнее время с ним и бывают связаны сильные метели, штормовые ветры и гололедные явления [4].

Вблизи центра циклона наблюдается интенсивные снегопады.

Прогноз прорыва южно – каспийского циклона дается, если выполняются следующие условия:

1) Термобарическое поле меридионально преобразуется, и над ЕТР формируется высотный циклон с ложбиной, ориентированной на юг в сторону Месопотамии (рис.6.5.);

2) Осуществляется вторжение холодного воздуха на Восточное Средиземноморье;

3) Юго – западная периферия антициклона над Средней Азией и Казахстаном быстро разрушается;

4) Наибольшее падение давления у поверхности земли с одновременным появлением перистых и перисто – слоистых облаков наблюдается над юго – западной частью Туркмении.

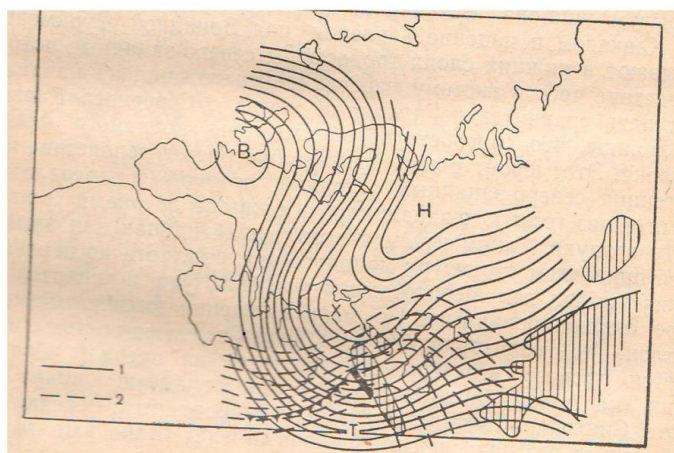


Рис.6.5.Типичное термобарическое поле за 12 часов до появления Южно-каспийского циклона

Южно-каспийские циклоны наблюдаются в основном в холодный период года, за 8 месяцев проходит 96% их годового количества. Максимум их выходов на Казахстан приходится на март.

В лабораторную работу включены 2 задания по анализу синоптических процессов Северного или Северо-Западного холодного вторжения и выхода Южно-Каспийского циклона на территорию Казахстана.

#### Содержание задания

1.Проанализировать развитие синоптических процессов и условия погоды на территории Казахстана в период холодного вторжения (северного или северо-западного) и выхода южного циклона.

### Исходные материалы

1. Комплекты карт погоды (приземных и высотных), составленные по наблюдениям в утренние сроки двух последовательных суток. Для характеристики истории процесса в каждом задании необходима приземная карта погоды, составленная по наблюдениям за сутки до начала синоптического процесса.

### Рекомендации по выполнению задания.

1. После первичного анализа карт первого комплекта (подъема и проведения изолиний) определяют положение и типы атмосферных фронтов и заканчивают оформление карт. Затем анализируют карты за следующие сутки.

2. По результатам анализа карт за первые и вторые сутки определяют: направление и скорость крупномасштабных течений средней и верхней тропосферы, географическое положение и интенсивность ВФЗ, характеристики термобарического поля и поля облачности в зонах атмосферных фронтов и в областях циклонов и антициклонов.

3. Составляют краткое описание синоптических процессов за двое суток. Составление описания желательно начать с характеристики крупномасштабной структуры высотного термобарического поля, указав, в частности, направление и скорость преобладающих потоков в средней и верхней тропосфере для рассматриваемого района, положение и интенсивность высотных фронтальных зон и их изменение на протяжении данного периода.

Затем можно перейти к характеристикам фронтальной системы, воздушных масс, циклонов и антициклонов. В этой части описания, помимо сведений о географическом положении и перемещении синоптических объектов, о распределении метеорологических элементов, стадиях развития циклонов и антициклонов и т.д., должен обязательно содержаться анализ выявленных закономерностей в развитии процесса и их отличий от «стандартных» моделей.

По указанию преподавателя, основное внимание в описании должно быть уделено конкретному району Казахстана.

### Отчетные материалы.

1. Полностью проанализированные комплекты карт
2. Описание синоптических процессов (в рабочей тетради).

### Контрольные вопросы.

1. Дайте определение общей циркуляции атмосферы.
2. Каковы основные типы синоптических процессов, выделенных Среднеазиатскими учеными?
3. Что лежит в основе типизации атмосферных процессов?

4. Назовите типы синоптических процессов, которые приводят к значительным похолоданиям и потеплениям на юго-востоке Казахстана.

5. Назовите опасные явления, связанные с выходом Южно-Каспийских циклонов на территорию Казахстана.

## Часть II Авиационная метеорология

### Лабораторная работа №7

#### Анализ влияния температуры на продолжительность полетов по трассе и расход топлива.

К основным параметрам, описывающим состояние атмосферы относятся: давление, температура, плотность, вязкость и сжимаемость. Эти параметры используются для оценки влияния атмосферы на летно-технические данные воздушных судов.

Целью данной работы является оценить влияние температуры на продолжительность полета и расход топлива.

Время, в течение которого летательный аппарат может продержаться в воздухе до полного выгорания данного запаса топлива, называется **продолжительностью полета  $t$** .

Дальность и продолжительность полета на горизонтальном участке при запасе топлива  $G_t$  определяется по известным километровому расходу топлива  $S_k$  и часовому расходу топлива  $S_ч$ .

**Километровый расход топлива  $S_k$**  — это расход топлива в килограммах (на все двигатели летательного аппарата) на один километр воздушного пути.

**Часовой расход топлива  $S_ч$**  — расход топлива в килограммах за один час полета.

Часовой расход топлива зависит от силы тяги, развиваемой двигателем, и от экономичности двигателя (удельного расхода топлива) и определяется по формуле:

$$S_ч = P S_p \quad (7.1)$$

где  $P$ —сила тяги, развиваемой двигательной установкой, кг;  $S_p$ —• удельный расход топлива в килограммах за один час на 1 кг тяги. Располагаемая сила тяги  $P_{рсп}$ , т. е. наибольшая сила тяги, которую может развить двигатель на данной высоте при допустимом режиме его работы, определяется по формуле:

$$P_{рсп} = \frac{G_v}{g} (C - V) \quad (7.2)$$

где  $G_v$  — масса воздуха, проходящего через двигатель за секунду;  $g$  — ускорение свободного падения;  $C$  — скорость истечения газов из двигателя;  $V$ — скорость поступления воздуха в двигатель.

Из формулы (7.2) видно, что располагаемая сила тяги прямо пропорциональна расходу смеси воздуха топливом. Расход воздуха в свою очередь зависит от плотности воздуха, уменьшение ее (повышение температуры воздуха или падение давления) должно вызывать снижение располагаемой силы тяги. При полете на постоянной высоте по барометрическому высотомеру давление остается неизменным, и располагаемая сила тяги в этом случае зависит только от температуры

воздуха. При положительных отклонениях температуры воздуха от стандартной сила тяги уменьшается, при отрицательных, наоборот, увеличивается. Так как высота полёта задается по барометрическому высотомеру, то  $P=P_{CA}$ . Тогда зависимость часового расхода топлива от атмосферных условий можно выразить соотношением:

$$C_{ч} = C_{чCA} \sqrt{\frac{T}{T_{CA}}} \quad (7.3)$$

где  $C_{ч}$  и  $C_{ч,CA}$  — часовой расход топлива в реальных условиях и в стандартной атмосфере соответственно, кг/ч.

Следовательно, при понижении давления и температуры воздуха часовой расход топлива уменьшается [10].

#### Содержание задания.

1. Для заданного типа самолета и числа  $M$  определить скорость полета в стандартных условиях на выбранном эшелоне.

2. Рассчитать фактическую скорость полета самолета на эшелоне при отклонениях температуры воздуха от стандартной на  $\pm 5, 10, 15$  и  $20$  °С.

3. Определить фактический часовой расход топлива при отклонениях температуры воздуха от стандартной на  $\pm 5, 10, 15$  и  $20$  °С (данные о часовом расходе топлива в стандартных условиях для различных типов самолетов приведены в приложении 1).

4. Для трассы, указанной преподавателем (приложение 2), рассчитать фактическое время полета по маршруту и фактический расход топлива. Полученные результаты сравнить со стандартными условиями.

5. Проанализировать полученные результаты.

#### Исходные материалы.

1. Таблицы стандартной атмосферы (ГОСТ 4401 -81).

2. Авиационная карта погоды (АКП).

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. Скорость полета в стандартных условиях для заданного числа  $M$  на выбранном эшелоне полета определить по формуле

$$V_{CA} = Ma,$$

где  $a$  — скорость звука, м/с;  $a=20,05\sqrt{T_{CA}}$ ;  $T_{CA}$  — стандартная температура на эшелоне полета, °К.

2. Для определения фактической скорости полета самолета на эшелоне следует воспользоваться формулой

$$V_{\phi} = V_{CA} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}},$$

где  $V_{\phi}$ ,  $V_{CA}$  — соответственно фактическая скорость полета самолета и скорость полета в стандартных условиях;  $T_{\phi}$ ,  $T_{CA}$  — фактическая температура воздуха и стандартная температура на эшелоне полета.

3. Фактический часовой расход топлива  $c_{ч. \phi}$  при различных отклонениях температуры воздуха от стандартной определить по формуле

$$C_{ч. \phi} = C_{ч. CA} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$$

Результаты расчетов для пп. 2 и 3 записать в Таблице 7.1.

Таблица 7.1.

$$T_{CA} = \quad V_{CA} = \quad C_{ч. CA} =$$

$\Delta$ = $T_{\phi} - T_{CA}$	$T_{\phi} = T_{CA} + \Delta T$	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi} = V_{CA} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$C_{ч. \phi} = C_{ч. CA} \sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$
-20 <sup>0</sup> C				
-15 <sup>0</sup> C				
-10 <sup>0</sup> C				
-5 <sup>0</sup> C				
5 <sup>0</sup> C				
10 <sup>0</sup> C				
15 <sup>0</sup> C				

4. На АКП провести ось маршрута, указанного преподавателем. Маршрут разбить на участки и для каждого участка определить фактическую скорость полета, фактический расход топлива и фактическое время пролета. Разбивку трассы на участки производить таким образом, чтобы на концах каждого участка разность температур составляла 2— 3<sup>0</sup>C. При выполнении расчетов средняя температура на участке принимается за фактическую  $T_{\phi}$ .

Полученные результаты расчета записать в табл. 7.2 следующего вида:

Таблица 7.2.

Номер участка	$S_{уч}$ км	$T_{\phi}$ 0C	$\sqrt{\frac{T_{\phi}}{T_{CA}}}$	$V_{\phi}$ км/ч	$c_{ч. \phi}$ кг/ч	$t_{\phi}$ ч	$G_{\phi}$ кг

$$S = \quad t_{\phi} = \quad G_{\phi} = \quad t_{CA} = \quad G_{CA} =$$

Сравнить полученные результаты фактического времени полета и фактического расхода топлива со стандартными значениями.



Варианты для выполнения работы приведены в приложениях 1 и 2.

#### Отчетный материал

1. Таблицы, заполненные по форме табл. 7.1 и 7.2.
2. Построенная на АКП трасса полета с указанием номеров и границ участков.

#### Контрольные вопросы

1. От чего зависят дальность и продолжительность полета?
2. Как влияет отклонение температуры воздуха от стандартной на часовой расход топлива?
3. Как учесть отклонение реальных условий от стандартной атмосферы при определении длины разбега (пробега) самолета при взлете (посадке)?
4. Дайте определение АКП.

#### Приложение 1.

##### Вариант 1

Ил-62;  $M = 0,75$ ;  $c_{чСА} = 8620$  кг/ч.

##### Вариант 2

Ил-62;  $M = 0,81$ ;  $c_{чСА} = 9020$  кг/ч.

##### Вариант 3

Ил-62;  $M = 0,84$ ;  $c_{чСА} = 9310$  кг/ч.

##### Вариант 4

Ту-154;  $M = 0,76$ ;  $c_{чСА} = 6370$  кг/ч.

##### Вариант 5

Ту-154;  $M = 0,80$ ;  $c_{чСА} = 6730$  кг/ч.

##### Вариант 6

Ту-154;  $M = 0,83$ ;  $c_{чСА} = 6950$  кг/ч.

##### Вариант 7

Ту-134;  $M = 0,71$ ;  $c_{чСА} = 3130$  кг/ч.

##### Вариант 8

Ту-134;  $M = 0,77$ ;  $c_{чСА} = 3440$  кг/ч.

##### Вариант 9

Ту-134;  $M = 0,82$ ;  $c_{чСА} = 3590$  кг/ч.

##### Вариант 10

Ил-86;  $M = 0,79$ ;  $c_{чСА} = 12400$  кг/ч.

#### Приложение 2.

Варианты маршрутов полета по картам

АТ<sub>400</sub> за 00 (03) ч 29.09.1986 г.

Актюбинск-Фрунзе, Свердловск – Целиноград, Берлин-Москва

АТ<sub>300</sub> 3 ч Волгоград-Ереван, Хельсинки-Сыктывкар, Осло-Варшава

АТ<sub>500</sub> за 00 (03) ч 17.11.1986 г Ленинград-Свердловск

АТ<sub>400</sub> Архангельск -Свердловск  
АТ<sub>300</sub>Аральск-Новосибирск

АТ<sub>400</sub>за 00 (04) ч 11.09.1986гСтокгольм – Минск  
АТ<sub>300</sub> Сыктавкар-Актюбинск, Ростов – на Дону- Ереван

АТ<sub>400</sub>за 00 (04) ч 27.08.1986гЛенинград-Куйбышев  
АТ<sub>300</sub> Симферополь-Куйбышев  
АТ<sub>200</sub> Брюссель-Будапешт

АТ<sub>500</sub> за 00 (04) ч 15.04.1985гВаршва-Одесса  
АТ<sub>400</sub> Свердловск-Балхаш  
АТ<sub>300</sub> Волгоград-Ашхабад

### Лабораторная работа №8

#### Оценка влияния ветра на полет воздушного судна (ВС).

Ветер оказывает существенное влияние на взлетно-посадочные характеристики ВС. Взлет и посадку самолетов стремятся проводить против ветра, так как встречный ветер уменьшает скорость отрыва и посадочную скорость, уменьшает длину разбега при взлете и длину пробега при посадке. Встречный ветер при взлете, создавая дополнительный обдув, увеличивает устойчивость и управляемость самолета в начале движения. При попутном ветре, наоборот, увеличивается длина разбега и пробега, ухудшается устойчивость и управляемость самолета в начале движения при взлете, усложняется выполнение взлета и посадки. Для оценки изменения времени и длины разбега (пробега) при встречном ветре по сравнению со штилевыми условиями используются соотношения

$$\frac{t}{t_0} = 1 - \frac{u}{V}, \quad (8.1)$$

$$\frac{L}{L_0} = \left(1 - \frac{u}{V}\right)^2,$$

где  $t$  и  $L$  – соответственно время и длина разбега (пробега) при встречном ветре  $u$ ;  $t_0$  и  $L_0$  – то же в штилевых условиях;  $V$  – скорость отрыва (посадки).

Сильный боковой ветер (или его боковая составляющая) может представлять большую опасность как для взлета, так и для посадки.

Вследствие неравномерного обдува самолета при боковом ветре создаются кренящий и разворачивающий моменты, приводящие к опрокидыванию или развороту (сносу) самолета относительно оси ВПП. Поэтому для каждого типа самолета вводятся ограничения на допустимую величину бокового ветра или его боковой составляющей. Зная скорость ветра  $u$  и угол  $\beta$ , под которым он направлен к оси ВПП, можно по номограмме, представленной на рис. 1, определить боковую составляющую ветра  $u_{\text{БК}}$  и оценить возможность безопасного взлета и посадки самолета, сравнив боковую составляющую с ее допустимым значением (10).

Для экипажей самолетов и диспетчерского состава необходима информация о ветре на высоте круга. Эта высота составляет 300—600 м и определяется Инструкцией по проведению полетов на данном аэродроме. Скорость ветра  $u_{\text{кр}}$  на уровне круга можно оценить, зная скорость геострофического ветра  $u_{\text{г}}$ , определяемую по приземному полю давления. Для расчета скорости ветра на высоте 300 м при внутримассовых квазистационарных условиях в равнинных районах средних широт применяется предложенная Н. В. Петренко и В. Г. Глазуновым формула

$$u_{\text{кр}} = 0,52u_{\text{г}} + 1,3, \quad (8.2)$$

где  $u_{\text{кр}}$  — скорость ветра на уровне круга, м/с.

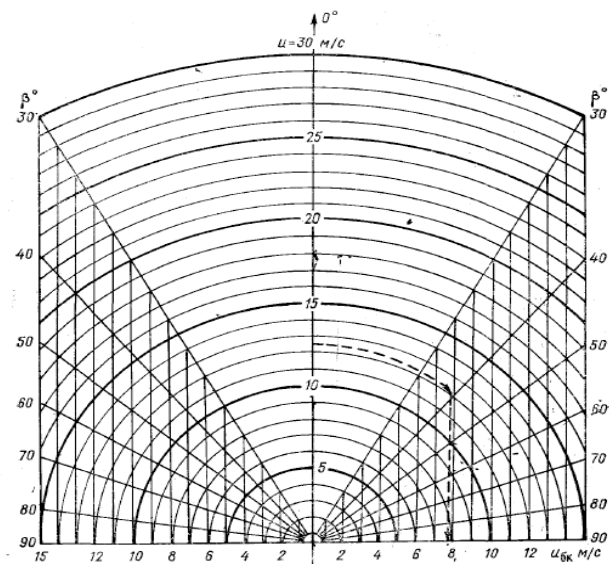


Рис.8.1. Номограмма для определения бокового ветра (или боковой составляющей ветра) по скорости ветра  $u$  и  $\beta$  между направлением ветра и осью ВПП.

Направление ветра на уровне круга определяется по направлению геострофического ветра с учетом отклонения от него на  $20^\circ$  влево.

Построение подобных уравнений регрессии для прогноза ветра на высоте круга над данным аэродромом позволяет учесть местные особенности ветрового режима. Этот подход дает возможность прогнозировать ветер на высоте круга на ближайшие 3 ч, если не ожидается значительного изменения синоптической ситуации.

Как показал опыт эксплуатации современных лайнеров, для их взлета и посадки большую опасность может представлять сильный (более 4 м/с на 30 м высоты) вертикальный сдвиг ветра в самом нижнем слое атмосферы.

**Сдвигом ветра** называется изменение ветра в пространстве. Он характеризуется изменением как скорости, так и направления. Различают вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра.

**Вертикальный сдвиг ветра** - это изменение ветра с высотой. **Горизонтальный сдвиг ветра** – это изменение ветра по горизонтали. Горизонтальные и вертикальные сдвиги ветра вызывают резкие изменения траектории движения ВС, что не обеспечивает безопасность полета, особенно на взлете и посадке.

Сущность влияния сдвига ветра на полет воздушного судна заключается в том, что резкое изменение характера движений воздуха вдоль траектории полета вызывает временно неустановившееся движение, при котором нарушается равновесие подъемной силы и веса воздушного судна. Наиболее опасными для полетов являются сдвиги ветра, вызывающие потерю высоты воздушного судна (ВС), так как при посадке они могут вызвать касание ВС земли до начала ВПП, а при взлете опасны из-за возможности выхода за нижний предел сектора безопасного набора высоты. Боковые сдвиги ветра, направленные поперек траектории полета ВС и вызванные чаще всего резкими изменениями направления ветра, вызывают боковое смещение ВС от расчетной траектории полета, что также опасно при полете вблизи поверхности Земли. Необходимо знать, что вертикальные, горизонтальные сдвиги ветра, вертикальные потоки и турбулентность в нижних слоях атмосферы, оказывающие воздействие на полет ВС, в зависимости от метеорологических условий могут встречаться в различных сочетаниях. Случай, при котором характер воздействия сдвигов или потоков воздуха на ВС складывается, например, из сочетания нисходящего потока и резкого ослабления встречного ветра, являются наиболее опасными. Кроме того, трудными для пилотирования являются случаи резкой смены характера воздействия сдвига ветра. Так, увеличение скорости встречного ветра может смениться резким уменьшением ветра, восходящий поток – нисходящим и.п. Важно заметить, что сильные сдвиги ветра особенно опасны, когда они встречаются в условиях ухудшенной видимости, низкой облачности, при осадках и в темное время суток [].

Для оценки интенсивности сдвига ветра следует пользоваться терминами и их численными категориями, которые рекомендованы ИКАО (таблица 8.1).

Таблица 8.1

**Критерии интенсивности сдвига ветра**

Интенсивность сдвига ветра	Влияние на управление ВС	Вертикальный сдвиг ветра на Н=30 м/с	Горизонтальный сдвиг ветра м/с на Н=600м	Скорость восходящего или нисходящего потока в м/с
Слабый	незначительное	0-2	0-2	0-2
Умеренный	Значимое	2-4	2-4	2-4
Сильный	существенные трудности	4-6	4-6	4-6
Очень сильный	Опасное	6	6	6

Аэросиноптические условия, способствующие увеличению сдвига ветра, отмечаются при прохождении атмосферных фронтов, при развитии интенсивной конвекции (грозово-градовые облака), при формировании инверсионного распределения температуры с высотой. Образованию локальных зон сильных сдвигов ветра способствуют и особенности рельефа и застройки района аэродрома.

В случае прохождения холодного фронта, имеющего скорость перемещения  $V_f$  и температурный контраст  $\Delta T$  °С, А. А. Васильев рекомендует оценивать возможность умеренных и сильных вертикальных сдвигов ветра по графику, приведенному на рис. 8.2.

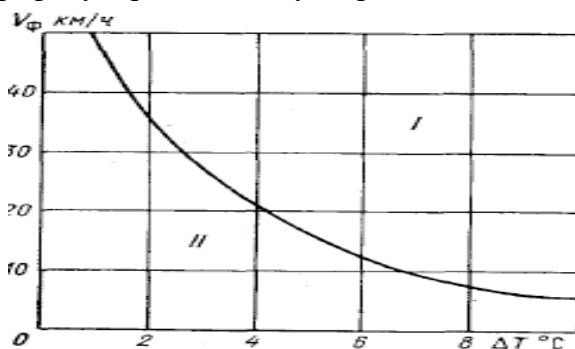


Рис.8.2. График для определения возможности умеренного и сильного вертикального сдвига ветра в нижнем 100-метровом слое атмосферы в зоне холодного фронта.

Ветер оказывает существенное влияние на характеристики крейсерского полета самолета. Их изменение под действием ветра можно

оценить, если рассмотреть навигационный треугольник скоростей (рис. 8.3.), образованный векторами воздушной скорости  $V$ , скорости ветра  $u$  и путевой скорости  $W$ . Последняя представляет собой векторную сумму  $V$  и  $u$ . Элементами навигационного треугольника скоростей являются также угол сноса  $\varphi$ , показывающий, насколько отличается путевой угол  $\alpha$  от курса самолета  $\gamma$  (т. е.  $\alpha = \gamma + \varphi$  с учетом знака угла сноса  $\varphi$ ), и угол ветра  $\varepsilon$ , определяемый по формуле

$$\varepsilon = \begin{cases} \delta - \alpha - 180^\circ, & \text{если } \delta > \alpha, \\ \delta - \alpha + 180^\circ, & \text{если } \delta < \alpha, \end{cases} \quad (8.3)$$

где  $\delta$  – направление ветра.

На основании величин  $u$ ,  $V$  и  $\varepsilon$  можно рассчитать угол сноса

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{u}{V} \sin \varepsilon\right) \quad (8.4)$$

и определить курс  $\gamma$ , необходимый для того, чтобы выдерживать направление полета по заданному путевому углу  $\alpha$ :

$$\gamma = \alpha - \varphi. \quad (8.5)$$

Путевая скорость (км/ч) определяется по формуле

$$W = u \cos \varepsilon + V \cos \varphi, \quad (8.6)$$

а продолжительность полета  $t$ (ч) на участке трассы длиной  $S$ (км) оценивается по соотношению

$$t = \frac{S}{W}. \quad (8.7)$$

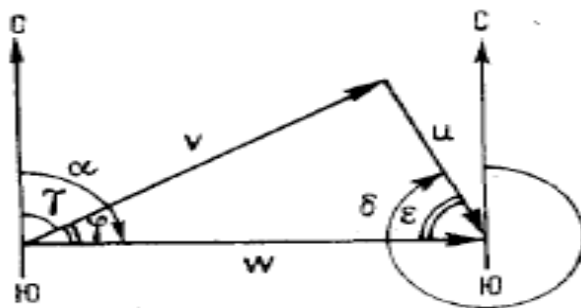


Рис.8.3. Навигационный треугольник скоростей.

Таким образом, используя информацию о поле фактического или прогнозируемого ветра по трассе, можно охарактеризовать изменение продолжительности полета по сравнению со стандартными (штилевыми) условиями и дать рекомендации по оптимизации режима полета с учетом ветра или по выбору оптимальной траектории.

#### Содержание задания.

1. Для аэродрома взлета и посадки по трассе, указанной преподавателем, определить изменение времени и длины разбега (пробега) по сравнению со штилевыми условиями, если скорость отрыва самолета составляет 190 км/ч, а скорость посадки — 240 км/ч.

2. Для аэродрома взлета и посадки определить возможность безопасного взлета (посадки) при боковой составляющей ветра  $u_{\text{бок}}$ , если рабочий курс ВПП  $\gamma_{\text{впп}}$  составляет  $30^\circ$ , а допустимое значение  $u_{\text{бок}}$  равно 10 м/с.

3. Оценить ветер на высоте круга для аэродромов взлета и посадки.

4. Для участка холодного фронта, указанного преподавателем, определить возможность возникновения умеренного и сильного сдвига ветра.

#### Исходные материалы.

1. Синоптический материал из Учебного атласа (приземная и высотная карты, которые использовались в лабораторной работе 7).

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. Для выполнения данной работы использовать трассу, которая была указана преподавателем при выполнении лабораторной работы 7. В аэропортах взлета и посадки определить ветер у земли и по формулам (8.1) рассчитать изменение взлетно-посадочных характеристик самолета, полагая ветер встречным.

2. Для определения боковой составляющей ветра вычислить угол  $\beta = \delta - \gamma_{\text{впп}}$ , где  $\delta$  — направление ветра у земли.

По графику рис. 8.1 определить величину  $u_{\text{БК}}$  с учетом скорости ветра и угла  $\beta$ . Сопоставить полученное значение  $u_{\text{БК}}$  с допустимым, считая, что при  $u_{\text{БК}} \geq 10$  м/с взлет и посадка запрещаются.

3. Используя формулу (8.2), определить скорость ветра на высоте круга и оценить его направление (для аэродромов взлета и посадки).

Результаты расчетов по указаниям 1—3 оформить в виде табл. 8.2.

Таблица 8.2

Влияние ветра на взлет и посадку в аэропорту

Этап полета	$u$ м/с	$\delta^0$	$t/t_0$	$L/L_0$	$\beta^0$	$u_{\text{БК}}$ м/с	Возможность безопасного взлета (посадки)	$u_{\text{кр}}$ м/с	$\delta^0_{\text{кр}}$
Взлет									
Посадка									

4. Для указанного преподавателем участка холодного фронта определить скорость смещения фронта  $V_{\text{фр}}$  и температурный контраст  $\Delta T_{\text{фр}}$ . Последний определяется как разность температур в точках, находящихся на расстоянии 100 км по разные стороны от приземной линии фронта.

По графику рис. 8.2. определить возможность умеренного и сильного сдвига ветра.

#### Отчетные материалы.

1. Заполненная таблица 8.1.

#### Контрольные вопросы

1. Как изменяются взлетно-посадочные характеристики самолета под влиянием ветра?
2. В чем опасность сильного бокового ветра или боковой составляющей ветра?
3. Как прогнозируется ветер на высоте круга?
4. В чем заключается опасность сильных сдвигов ветра при взлете и посадке самолета?
5. Какие аэросиноптические условия благоприятны для возникновения сильных сдвигов ветра?
6. Как влияет ветер на скорость полета воздушного судна?



## Лабораторная работа №9 Определение потолка самолета

Для анализа результатов летных испытаний их необходимо привести к стандартным условиям, а точнее к стандартным высотам.

**Стандартная высота** — это такая высота, на которой атмосферные условия, наблюдавшиеся во время испытаний, аналогичны условиям стандартной атмосферы. Стандартные высоты, определенные отдельно по различным параметрам атмосферы, будут различными. Выбор способа приведения высоты зависит от характера решаемой задачи. Чаще всего высота определяется по барометрическому высотомеру.

Фактические условия погоды почти всегда отличаются от стандартных, т. е., строго говоря,  $p_0$  не равно  $p_{0CA}$ , но ошибку легко устранить конструктивным способом в самом высотомере или поправкой, вычисляемой по соотношению

$$\Delta z = 10 (p_0 - 760). \quad (9.1)$$

Поскольку давление измеряется на метеорологической станции, а взлет самолета осуществляется с взлетно-посадочной полосы (ВПП), то на борт самолета (вертолета) передается давление, приведенное к уровню ВПП с помощью барометрической ступени  $\Delta z$  (м/гПа). Барометрическая ступень показывает на сколько должна измениться высота, чтобы давление изменилось на единицу.

Высота полета может определяться над уровнем моря (абсолютная высота), либо относительно ВПП (относительная высота) или как расстояние до земной поверхности, над которой пролетает летательный аппарат (истинная высота). Для обеспечения безопасности полетов по воздушным трассам осуществляется вертикальное эшелонирование, т. е. полеты разрешается выполнять на строго определенных высотах (эшело́нах) по барометрическому высотомеру относительно условного нулевого уровня ( $p_0=760$  мм рт. ст.).

Одной из важнейших летно-технических характеристик летательного аппарата, учитываемых при выборе эшелона, является его потолок.

**Потолок самолета (вертолета)** — это наибольшая высота, на которую он может подняться при определенном режиме полета. Потолок зависит от физического состояния атмосферы. Полет самолета вблизи потолка является наиболее рентабельным, так как с высотой уменьшается расход топлива и повышается дальность полета.

По мере подъема на высоту избыток тяги уменьшается, т. е. одновременно уменьшается и вертикальная скорость набора высоты. Высота, на которой избыток тяги и вертикальная скорость равны нулю, называется **теоретическим потолком**. На этой высоте возможен только горизонтальный полет на наивыгоднейшей скорости.

Достигнуть теоретического потолка летательный аппарат практически не может, так как по мере приближения к нему избыток тяги становится все меньше и для набора оставшейся высоты потребуется затратить слишком много времени и топлива. Уменьшение полетной массы вследствие расхода топлива приводит к увеличению теоретического потолка. Поэтому введено понятие **практического потолка**, определяемого как высота полета, на которой максимальная вертикальная скорость равна 0,5 м/с для поршневых и 5 м/с для реактивных самолетов [10].

Сверхзвуковые самолеты имеют 2 потолка: статический (боевой) и динамический.

**Статический потолок** – это наибольшая высота горизонтального полета с постоянной скоростью с креном  $20^\circ$ .

**Динамический потолок** – это наибольшая высота, на которую может подняться воздушное судно (ВС), используя не только тягу двигателя но, и инерцию разгона, сохранив скорость не менее минимально допустимой.

Температура воздуха может значительно отличаться от стандартной, что оказывает существенное влияние на располагаемую силу тяги. Скороподъемность и потолок при повышении температуры воздуха уменьшаются, а при понижении увеличиваются.

Так как потолок самолета в значительной степени зависит от метеорологических условий, то для обеспечения безопасности была уменьшена предельно допустимая высота полета

Максимальную высоту полета следует определять исходя из учета отклонения фактической температуры воздуха от стандартной. Поэтому в прогнозах погоды, предназначенных для высотных полетов, прежде всего необходимо указывать положительные отклонения температуры воздуха.

#### Содержание задания.

1. Для трассы, указанной преподавателем, определить фактический потолок самолета. Для этой цели использовать авиационную карту и приземную карту погоды за один и тот же срок наблюдения.

2. Построить график отклонения фактического потолка самолета от стандартного по всей трассе.

3. Проанализировать полученные результаты.

#### Исходные материалы

Синоптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа.

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. Для выполнения данной работы использовать трассу, которая была указана преподавателем при выполнении лабораторной работы 7.

Расчет проводить для одного из четырех типов самолетов (Ту-134, Ту-154, Ил-62 или Ил-86), указанных преподавателем.

Отклонение потолка самолета  $\Delta H_{пт}$  (м) от стандартного рассчитать по формулам

$$\Delta H_{пт} = H_{пт. ф} - H_{пт. СД} = (p_{0 ф} - p_{0 СД}) 8 - (T_{н ф} - T_{н СД}) 80,$$

$$\Delta H_{пт} = k \Delta T_{н},$$

(9.2 и 9.3)

где  $p_{0 ф}$ ,  $p_{0 СД}$  — фактическое и стандартное атмосферное давление у земли, гПа;  $T_{н ф}$ ,  $T_{н СД}$  — фактическая и стандартная температура воздуха на высоте потолка самолета, °С;  $k$ , — коэффициент; для разных типов самолета этот коэффициент различен:

Тип самолета	Ту-134	Ту-154	Ил-62	Ил-85
$k$	- 40	-55	-100	- 130

$\Delta T_{н} = T_{н ф} - T_{н СД}$  — отклонение температуры воздуха от стандартной на высоте потолка самолета.

При выполнении расчетов по формулам (9.2) и (9.3) значения  $p_{0 ф}$  снимать с приземной синоптической карты, а за величины  $T_{н ф}$  и  $T_{н СД}$  принимать фактическую и стандартную температуру воздуха на том уровне, для которого построена АКП.

2. При построении графиков отклонений потолка самолета от стандартного следует выбрать масштаб: по вертикали 1 см — 250 м, а по горизонтали 1 см — 150 км.

3. При анализе построенных кривых сравнить результаты расчета по формулам (9.2) (более точной) и (9.3). Затем оценить отклонение потолка от стандартного и разность полученных результатов при использовании той или другой формулы.

#### Отчетные материалы.

1. Таблица с результатами расчета следующего вида

Таблица 9.1

Номер точки	$p_{0 ф}$ гПа	$\Delta p_0$ гПа	$\Delta p_0 8$ гПа	$T_{н ф}$ К	$\Delta T_{н К}$	$\Delta T_{н 80}$	$\Delta H_{пт} = 8 \Delta p_0 - 80 \Delta T_{н}$ м	$\Delta H_{пт} = k \Delta T_{н}$ м

2. Построенный график отклонений самолета от стандартного, рассчитанных по формулам (9.2) и (9.3). Составленный на отдельном листе анализ полученных результатов, в котором должны быть отражены:

- участки с максимальным и минимальным отклонением потолка самолета от стандартного;

- перепад высот потолка по заданному маршруту;
- максимальная и минимальная разность при определении потолка самолета по формулам (9.2) и (9.3).

#### Контрольные вопросы

1. Что влияет на отклонение фактической высоты полета, определяемой по барометрическому высотомеру, от стандартной?
2. Относительно чего может определяться высота полета?
3. Что называется потолком самолета?
4. В чем отличие теоретического, практического и динамического потолков?
5. Каким образом определяется фактическая высота потолка самолета?

### Лабораторная работа №10

#### Диагноз и прогноз атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов

Среди метеорологических явлений, оказывающих влияние на полет воздушного судна, одним из наиболее опасных является атмосферная турбулентность, вызывающая интенсивную болтанку, под которой понимается резкое перемещение самолетов в вертикальной плоскости. Болтанка, особенно сильная, явление сравнительно редкое. Тем не менее внезапное попадание самолета в зону интенсивной турбулентности может быть причиной серьезных летных происшествий: В связи с этим перед синоптиками метеорологических подразделений стоит сложная задача диагноза и прогноза болтанки самолетов. Трудности прогноза усугубляются большими погрешностями температурно-ветрового зондирования.

Основной причиной возмущения воздушных течений являются сдвиги ветра в атмосфере и контрасты температуры. Различные процессы порождают эти контрасты. К таким процессам следует отнести трение воздушного потока о поверхность земли и как следствие — большие вертикальные градиенты ветра в нижнем слое, деформация воздушных течений горами и неодинаковое нагревание различных участков подстилающей поверхности, что в свою очередь вызывает термическую конвекцию и обостряет процессы облакообразования. При этом выделяется тепло конденсации и изменяется характер полей температуры и ветра, а также взаимодействие воздушных масс, различных по своим свойствам. На границе воздушных масс очень резко выражены горизонтальные градиенты температуры и ветра, а также имеются инверсионные слои, на которых могут возникать гравитационные волны, теряющие при определенных условиях устойчивость [9].

Различают механическую (орографическую), термическую (конвективную) и динамическую турбулентность.

**Механическая турбулентность** является функцией скорости ветра у поверхности Земли, шероховатости земной поверхности, а также взаимного расположения направления ветра и направления хребта. В результате возмущений, возникающих за счет неровностей земной поверхности, образуются сильные восходящие и нисходящие потоки, которые и вызывают болтанку воздушного судна.

**Термическая (конвективная) турбулентность** образуется за счет неравномерного нагрева земной поверхности или при адвекции холодного воздуха на теплую подстилающую поверхность.

**Динамическая турбулентность** возникает в атмосфере в слоях, где наблюдаются большие вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра и температуры. В результате имеющихся в атмосфере градиентов ветра и температуры образуются гравитационные и гравитационно-сдвиговые волны, которые при определенных условиях могут разрушаться и переходить в турбулентные вихри более мелкого масштаба.

Наиболее опасна для авиации **турбулентность при ясном небе (ТЯН)**, так как она всегда оказывается внезапной для экипажа. Турбулентность при ясном небе—турбулентность в свободной атмосфере вне зон конвективной деятельности и турбулентность в перистых облаках.

В авиационных прогнозах погоды указывается нижняя, верхняя границы зоны турбулентности и ее интенсивность. Для прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, используются как синоптические, так и расчетные методы.

Суть синоптических методов прогноза атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку самолетов, заключается в комплексном анализе приземных карт погоды и карт барической топографии разных уровней.

Анализ синоптических и кольцевых карт погоды позволяет определить характер облачности в интересующем районе, наличие фронтальных разделов и их активность. По высотным картам определяется форма барического поля, скорость ветра на высоте полета, знак адвекции температуры и дивергенции потока.

Расчетные методы прогноза болтанки самолетов сводятся к определению числа Ричардсона ( $R_i$ ) или других критериев, характеризующих турбулентное состояние атмосферы.

Диагноз условий болтанки ВС по числам  $R_i$  на маршрутах большой протяженности требует много времени. Чтобы избежать этой трудности. Оценку условий болтанки часто делают по структуре барического поля и поля ветра на высоте полета.

Синоптико-статистический метод прогноза болтанки самолетов в вероятной форме предложен Н. И. Давыдовым и Е.Г. Ломоносовым.

Для прогноза болтанки по синоптико-статистическому методу Н. И. Давыдова необходимо эшелон полета от взлета до посадки разбить на участки и для каждого участка определить простые синоптические признаки той синоптической ситуации, в которой будет происходить полет на эшелоне, а по комплексу простых признаков определить вероятность болтанки любой интенсивности (группа I), а также умеренной и сильной болтанки (группа II).

Различные сочетания простых признаков позволили получить комплексные признаки, с помощью которых можно определить вероятность возникновения болтанки в данном барическом поле на высоте полета [10].

#### Содержание задания.

1. На лист кальки перенести барическое поле для маршрута полета (маршрут и эшелон полета указываются преподавателем; исходными данными служат карты погоды из Учебного атласа).

2. Маршрут полета разбить на участки протяженностью 300-400 км и для каждого участка определить возможность возникновения болтанки синоптико – статистическим методом Н.И. Давыдова.

3. Результаты расчетов занести в таблицу 10.3.

#### Исходные материалы

1. Аэросиноптический материал из Учебного авиационного метеорологического атласа.

2. Лист кальки.

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. На карте барической топографии того уровня, вблизи которого будет совершаться полет (обычно АТ-300), вдоль маршрута выделяется полоса шириной 300 км, которая разбивается на квадраты размером 300х300 км. Затем в каждом квадрате определяется номер характеристики барического поля и поля ветра (простые признаки) согласно перечню табл. 10.1.

2. По сочетанию номеров простых признаков с помощью табл. 10.2., определяется вероятность болтанки любой интенсивности, а также умеренной в данном квадрате, которая и выписывается в середине данного участка маршрута. Пример диагноза болтанки для маршрутов представлена на рис 10.1.

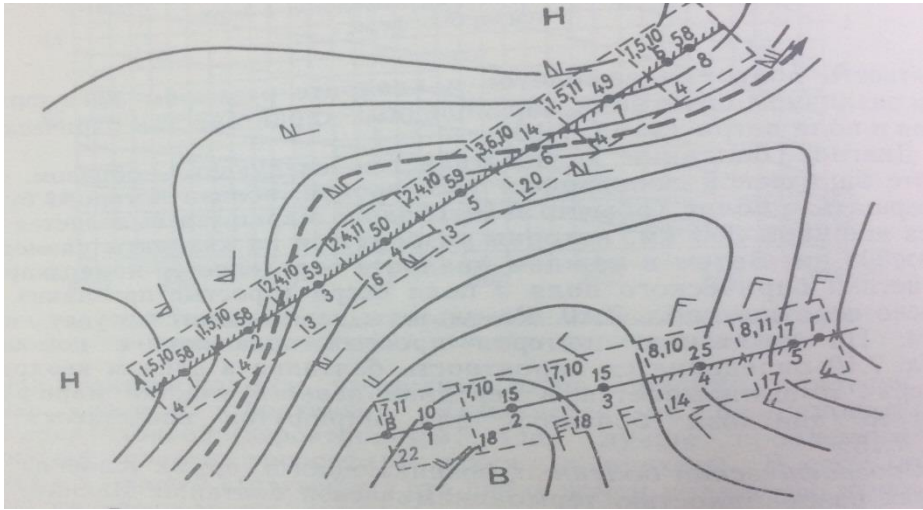


Рис.10.1. Пример диагноза болтанки для маршрутов.

Таблица 10.1  
Вероятность болтанки самолетов при различных синоптических ситуациях

Номер признака	Тип синоптической ситуации	Болтанка любой интенсивности (группа I)	Умеренная и сильная болтанка (группа II)
1	А. Для скорости >90 км/ч	0,54	0,26
	Циклоническая часть струи	0,61	0,33
2	Антициклоническая часть струи	0,51	0,23
3	Осевая часть струи	0,28	0,07
4	Гребень в струе	0,75	0,41
5	Ложбина в струе	0,51	0,26
6	Прямолинейная струя	А. Для скорости >90 км/ч	0,50
		Б. Для скорости <90 км/ч	0,35
7	Гребень	0,39	0,11
8	Ложбина	0,43	0,20
9	Прямолинейный поток	А. Для скорости >90 км/ч	0,31
		Б. Для всех значений скорости	0,41
10	Сходимость или расходимость изогипс	0,51	0,21
11	Отсутствие сходимости или расходимости изогипс	0,37	0,15

Таблица 10.2

Вероятность болтанки самолетов (%) в зависимости от сочетания простых признаков

Номер сложного признака	Сочетание простых признаков	Вероятность болтанки, %	Сочетание простых признаков	Вероятность болтанки, %
1	1, 4, 10	90	1,4,10	71
2	2, 4, 10	87	1,4,11	62
3	1, 4, 11	85	2,4,10	59
4	2, 4, 11	79	1,5,10	58
5	1, 5, 10	77	1,6,10	51
6	1, 6, 10	77	2,4,11	50
7	3, 4, 10	72	1,5,11	49
8	2, 5, 10	69	2,5,10	48
9	2, 6, 10	69	1,6,11	41
10	1, 5, 11	67	2,5,11	40
11	1, 6, 11	66	2,6,10	39
12	3, 4, 11	59	2,6,11	30
13	2, 5, 11	54	3,4,10	28
14	8, 10	53	8,10	25
15	2, 6, 11	49	3,5,10	23
16	7, 10	48	3,4,11	20
17	3, 6, 10	45	8,11	17
18	3, 5, 10	41	7,10	15
19	9, 10	41	3,5,11	15
20	8, 11	37	3,6,10	14
21	7, 11	34	9,10	13
22	3, 5, 11	33	7,11	10
23	3, 6, 11	32	9,11	9
24	9, 11	27	3,6,11	9

Таблица 10.3

Маршрут \_\_\_\_\_ Карта АТ за \_\_\_\_\_

№п/п	Параметры турбулентности	Номер участка маршрута		
		1	2	3
1	Простые признаки синоптической ситуации			
2	Вероятность болтанки: группы I группы II			



### Отчетные материалы.

1. Переснятые на кальку маршрут полета с указанием номеров отдельных его участков и барическое поле, в котором прогнозировалась болтанка.

2. Таблица 10.3 с результатами расчетов.

3. Составленный на отдельном листе (или под табл. 10.3) анализ результатов прогноза болтанки самолетов. В анализе указать:

— вероятность болтанки на различных участках

### Контрольные вопросы

1. Что называется болтанкой самолетов?

2. Какие причины приводят к возмущению атмосферы, вызывающей болтанку самолетов?

3. В каких синоптических ситуациях болтанка самолетов наблюдается наиболее часто?

4. Какие критерии используются для диагноза и прогноза болтанки самолетов?

5. Какие методы прогноза болтанки самолетов используются в оперативной практике?

## Лабораторная работа №11

### Прогноз туманов и слоистообразной облачности

**Туман**— это скопление в воздухе вблизи земли взвешенных капель воды или кристаллов льда, приводящее к ухудшению горизонтальной видимости (менее 1 км). Аналогичное явление с видимостью от 1 до 10 км называется дымкой. Туманы и густые дымки оказывают большое влияние на работу авиации. Они могут привести к закрытию аэропортов, возврату самолетов и вертолетов с маршрутов и даже к авиационным происшествиям. Поэтому прогнозу туманов на авиационных метеостанциях уделяется большое внимание.

В зависимости от степени ухудшения видимости туманы подразделяются на слабые (видимость 500—1000 м), умеренные (видимость 200—500 м), сильные (видимость 50—200 м) и очень сильные (видимость меньше 50 м).

По вертикальной мощности туманы также подразделяются на четыре группы: поземные (до 2 м), низкие (2—10 м), средние (10—100 м) и высокие (более 100 м) туманы.

Согласно существующей классификации, туманы, возникающие в однородной воздушной массе, относятся к внутримассовым, а туманы, образующиеся в зоне атмосферных фронтов,— к фронтальным туманам.

В зависимости от физических причин образования туманы условно подразделяются на туманы испарения, туманы смешения и туманы охлаждения.

К туманам испарения относятся морские туманы и туманы, формирующиеся над реками и озерами. Туманы смешения возникают при смешении воздушных масс с различными температурно-влажностными характеристиками, а туманы охлаждения образуются вследствие понижения температуры воздуха. Температура воздуха может понизиться за счет ночного или круглосуточного (зимой) излучения земной поверхности, а также вследствие перемещения сравнительно теплого воздуха над холодной подстилающей поверхностью. В первом случае образуются радиационные туманы, во втором — адвективные. К туманам охлаждения относятся также адвективно-радиационные туманы и туманы склонов.

**Радиационный туман** образуется над сушей при безоблачном небе и слабом ветре в результате ночного охлаждения воздуха, когда его температура оказывается ниже исходного значения температуры точки росы в вечерний срок. Наиболее часто благоприятные условия для возникновения радиационного тумана создаются в антициклонах, гребнях, отрогах и барических седловинах, реже и главным образом летом — в поле пониженного давления с небольшими барическими градиентами.

Радиационный туман в большинстве случаев возникает при штиле у земли или скорости ветра 1—3 м/с. Благоприятным фактором для образования тумана является слабое увеличение скорости ветра с высотой. При прогнозе радиационных туманов необходимо учитывать продолжительность ночного выхолаживания, характер облачного покрова, скорость и направление ветра, исходные значения температуры и влажности воздуха, характер подстилающей поверхности и стратификацию воздушной массы.

Как указывалось выше, для прогноза тумана необходимо определить по исходным данным с учетом всех факторов температуру туманообразования, минимальную температуру и сравнить их между собой. Если температура туманообразования оказывается выше минимальной температуры, в прогнозах погоды необходимо указывать возможность возникновения тумана. Если эти условия не выполняются — туман маловероятен.

**Адвективный туман** следует ожидать в ближайшие часы или сутки, когда по прогнозу синоптического положения создаются условия для адвекции теплого и влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность.

Адвективные туманы наблюдаются в любое время суток. При повышении скорости приземного ветра интенсивность адвективных туманов возрастает. Это справедливо для увеличения скорости ветра у земли до 12—15 м/с. Как правило, адвективные туманы возникают зимой и в переходные сезоны при заметном потеплении.

При прогнозе адвективных туманов следует учитывать перемещение уже имеющихся зон тумана, адвективные изменения

температуры и температуры точки росы в приземном слое, возможность снижения облаков до поверхности земли, а также охлаждение воздуха в процессе ночного радиационного выхолаживания.

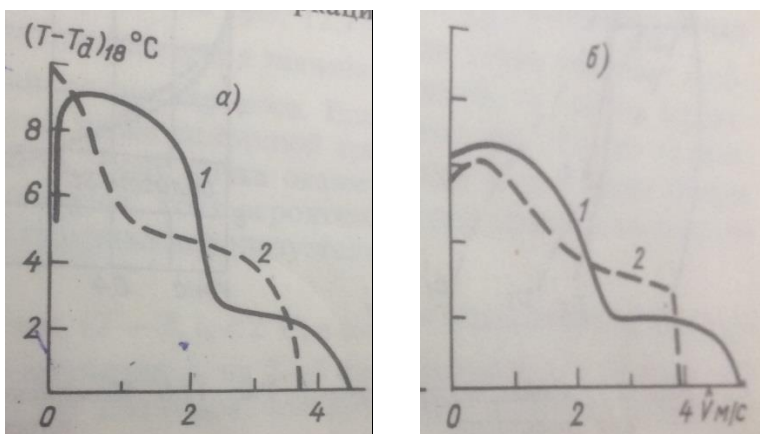
Прогноз радиационного тумана может осуществляться несколькими методами. Он основан на графическом способе построения дискриминантной функции.

Рассмотрим статистический метод прогноза радиационных и радиационно-адвективных туманов, разработанный П.К. Душкиным.

Исходными данными для прогноза являются дефицит точки росы в 18 ч  $(T-T_d)_{18}$  и скорость ветра в 18, 20 и 22 ч  $(V_{18}V_{20}V_{22})$  в пункте прогноза, по значениям которой определяется сглаженное значение скорости ветра

$$V=0,8V_{22}+0,16V_{20}+0,04V_{18} \quad (11.1)$$

Прогноз составляют с помощью дискриминантных графиков (рис.11.1, 11.2).



**Рис.11.1. Прогноз туманов в марте, апреле, августе, сентябре и в октябре – феврале.**

Если точка с координатами  $(T-T_d)_{18}$  и  $V$  попадает в замкнутую область, ограниченную соответствующей демаркационной кривой и осями координат, то следует прогнозировать туман.

Адвективный туман возникает при адвекции теплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность, в результате чего происходит трансформационное охлаждение воздуха и конденсация содержащегося в нем водяного пара.

Для возникновения адвективного тумана необходимо, чтобы турбулентное перемешивание, зависящее от скорости ветра и стратификации воздуха, «не успевало» переносить образующиеся в

приземном воздухе продукты конденсации вверх. В противном случае образуется низкая облачность, а не туман.

Облачность существенно сказывается на самолетовождении, усложняет пилотирование, визуальное наблюдение и ориентировку, оказывает влияние на профиль полета и выбор маршрута, затрудняет выполнение маневров по высоте.

Основные затруднения для пилотов при посадке и взлете связаны с облачностью и условиями видимости, которая зависит от высоты облаков, влажности и скорости ветра. Ухудшение видимости у земной поверхности чаще всего происходит при наличии низкой облачности.

К низкой внутримассовой слоистообразной облачности принято относить преимущественно слоистые (St) и низкие слоисто-кучевые (Sc) облака, высота нижней границы которых составляет 300 м и ниже над поверхностью земли.

Охлаждение влажного воздуха является одной из основных причин образования низкой облачности. Оно может быть обусловлено разными причинами: адиабатическим расширением воздуха при его подъеме и радиационным выхолаживанием. Низкая облачность может встречаться на атмосферных фронтах всех типов, а также внутри однородных воздушных масс в антициклонах, сформированных в морском умеренном воздухе или в теплых секторах циклонов и барических седловинах.

Слоистые облака чаще всего формируются в подинверсионном слое, когда воздух в нем достигает насыщения. Нижняя граница облаков, как правило, находится на высоте 100—300 м, но может опускаться до 50 м, а в отдельных случаях и до земной поверхности. Колебания высоты нижней границы сильно осложняют полет на малых высотах.

Слоисто-кучевые облака могут быть плотными и просвечивающими. Высота нижней границы плотных облаков чаще всего 300—600 м, толщина — 600—1000 м и более. Высота нижней границы просвечивающих облаков составляет обычно 500—1000 м, толщина — 100—300 м. В зонах атмосферных фронтов облака бывают расслоенными.

Слоисто-дождевые облака типичны для фронтальных разделов. Высота их нижней границы и вертикальная мощность зависят от расстояния до приземной линии фронта, вблизи которой минимальная высота облаков (вместе с разорванными) составляет 100—200 м, а иногда и меньше.

Основными исходными материалами при прогнозировании низких облаков являются данные наземных наблюдений. Методика прогноза базируется на оценке развития синоптического процесса и на статистических связях характеристик низкой облачности со значениями ряда параметров.

В настоящее время разработан ряд синоптико-статистических методов прогноза низкой облачности.

Рассмотрим некоторые из них.

## 1. Прогноз появления или сохранения низкой облачности с суточной заблаговременностью по методу А.К. Лугченко.

Статистически установлена связь между начальной температурой воздуха в пункте прогноза  $T_0$ , ожидаемой температурой через сутки  $T_{пр}$  и вероятностью появления низкой облачности.

Удовлетворительные результаты получаются для таких процессов, когда возникновение и развитие низкой облачности связано с адвекцией тепла.

Вероятность появления низких облаков можно определить с помощью графика (рис.11.2.).

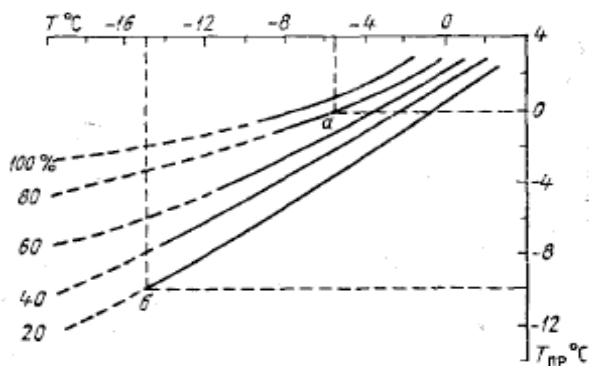


Рис.11.2. График для определения вероятности появления облаков высотой менее 200 м (по методу А.К. Лугченко).

По оси абсцисс этого графика откладывается температура воздуха, а по оси ординат – прогнозируемая температура на сутки вперед. Кривые на этом графике обозначают вероятность (%) появления низких облаков высотой менее 200 м.

На основании такого графика, используя значения прогнозируемой температуры, можно предусмотреть возникновение или сохранение низких облаков или тумана в утренние часы следующих суток. Графиком пользуются следующим образом. Из точки, соответствующей фактической температуре, необходимо опуститься вертикально вниз, а из точки, соответствующей прогнозируемой температуре, сместиться влево параллельно оси абсцисс до пересечения с изолинией фактической температуры. По точке пересечения определяют вероятность (%) возникновения или сохранения низких облаков. Так, например, если в 6 ч фактическая температура равна  $-6,0$  °C, а к 6 ч следующих суток ожидается ее повышение до  $0$  °C, то вероятность появления низких облаков составит 80%, при междусуточном повышении температуры от  $-15$  °C до  $-10$  °C вероятность появления этих облаков составит лишь 20%.

## 2. Прогноз высоты нижней границы низкой облачности с заблаговременностью 8-10 ч по методу Е.И. Гоголевой.

При прогнозе на 8-10 ч при мало меняющейся синоптической обстановке Е.И. Гоголевой установлена связь между прогностической высотой низких облаков, исходной температурой воздуха  $T_0$  в пункте прогноза и значением точки росы  $T_{дн}$  в начальной точке переноса.

В условиях медленно изменяющейся синоптической обстановки, когда прогноз низких облаков связан с хорошо выраженным переносом воздушных масс, для оценки высоты облаков используется график Е. И. Гоголевой (рис.11. 2). Этот график отражает зависимость высоты облаков от разности температуры воздуха в пункте прогноза  $T_0$  и температуры точки росы поступающего воздуха  $T_d$ .

В тех случаях, когда поступающая воздушная масса характеризуется более высокой температурой точки росы, чем температура подстилающей поверхности, будет происходить увеличение относительной влажности и понижение облачности или появление низких облаков. Наоборот, если температура точки росы поступающего воздуха ниже, чем температура воздуха в данном районе, следует ожидать уменьшение относительной влажности и повышение высоты облаков или их растекания. На графике рис. 11.3 по вертикальной оси отложено значение температуры в пункте, для которого дается прогноз, а на горизонтальной оси — температура точки росы в начале траектории, т. е. температура воздушной массы, которая поступит в пункт прогноза через 12 ч. Наклонные сплошные линии ограничивают области с различной высотой облаков. Например, верхняя линия ограничивает область с высотой облаков более 300 м (слева) и менее 300 м (справа).

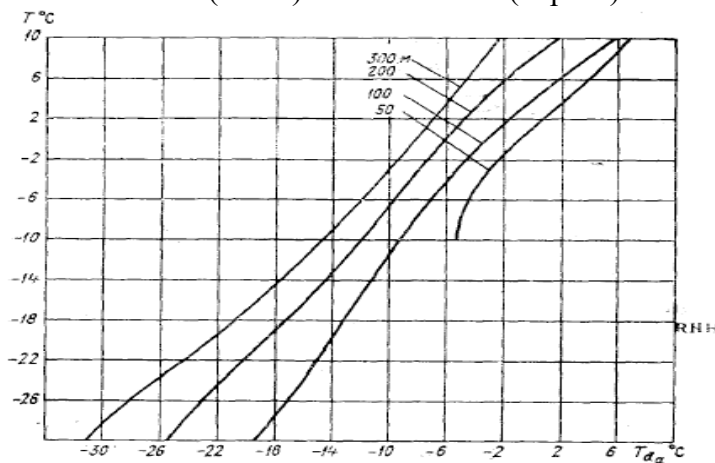


Рис11.3. График для прогноза нижней границы облачности по методу Е.И. Гоголевой)

Для прогноза нижней границы облачности по графику рис.11.2. необходимо предварительно с помощью основных или кольцевых карт погоды определить район, откуда поступают воздушные массы. Достаточно точно это можно сделать на основании анализа карт АТ<sub>850</sub> или

АТ<sub>700</sub>, приняв за траектории воздушных частиц изогипсы. При использовании карты АТ<sub>700</sub> скорость переноса рекомендуется принимать равной 0,7—0,8 от средней скорости, определяемой на этом уровне. Если карты барической топографии отсутствуют, то для расчета следует брать среднее значение скорости геострофического ветра.

#### Содержание задания

1. Составить прогноз по методу П.К. Душкина радиационного тумана в пунктах Псков и Старая Русса на ночные часы 17 сентября 1978г.

#### Исходные материалы

1. Приземные карты за 15 ч 16 сентября и 03 ч 17 сентября 1978г.
2. Прогностическая приземная карта на 00 ч 17 сентября 1978г.
3. Исходная информация (табл.11.1).

Таблица 11.1.

**Исходные данные и результаты прогноза радиационного тумана по методу П.К. Душкина на ночные часы 17 сентября 1978г.**

Пункт	T <sub>18</sub> <sup>0</sup> С	T <sub>d18</sub> <sup>0</sup> С	V <sub>18M</sub> /с	V <sub>20</sub> м/с	V <sub>22M</sub> /с	Прогноз тумана	Фактическая погода	
							в срок наблюдений	видимость, м
Псков	10,5	9,6	3	2	2			
Старая Русса	12,2	11,0	3	3	2			

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. При составлении прогноза рассмотреть исходную и прогностическую карты, сделать вывод о том, благоприятна или нет синоптическая ситуация для возникновения радиационного или адвективно-радиационного тумана.
2. Результаты прогноза записать в табл.11.1.
3. Результаты прогноза сравнить с фактическими данными за 03ч 17 сентября 1978г.

#### Отчетные материалы.

1. Описание синоптического положения (в рабочей тетради).
2. Заполнить табл.11.1.
3. Текст прогноза (в рабочей тетради).

#### Содержание задания

1. Составить суточный прогноз появления низкой облачности по методу Лугченко для Москвы и сохранения ее для Ленинграда на 06 ч 27.02.1978г.

2. Определить наиболее вероятную высоту нижней границы облаков и сравнить с фактическими данными.

#### Исходные материалы.

1. Карты погоды: приземная за 06 ч, АТ850 за 00 ч 26.02.1978г., прогностическая АТ850 за 00 ч 27.02.1978г.

2. Приземная карта за 06 ч 27.02.1978г (дается для сравнения полученных результатов с фактическими).

#### Рекомендации по выполнению задания.

1. Составить суточный прогноз температуры воздуха для Москвы и Ленинграда. Начальную точку переноса определить по данным исходной и прогностической карт АТ<sub>850</sub>.

2. Оценить вероятность появления низкой облачности по графику А.К. Лугченко.

3. Результаты записать в таблицу и сравнить их с фактическими данными.

Пункт	T <sub>0</sub> <sup>0</sup> С	T <sup>0</sup> С	Вероятность низкой облачности Р%	Высота нижней границы облачности Н <sub>м</sub>	Фактические данные в 06ч 27.02.1978г.	
					количество, облаков, баллы	Н <sub>м</sub>
Москва						
Ленинград						

#### Отчетные материалы.

1. Заполненная таблица.

2. Текст прогноза (в рабочей тетради).

#### Содержание задания

1. Составить прогноз появления низкой облачности по методу Е.И. Гоголевой и определить высоту её нижней границы (НГО) с заблаговременностью 8-10 ч.

#### Исходные материалы.

1. Приземная карта за 12 ч 26.02.1978г. и прогностическая карта АТ<sub>850</sub> на 00 ч 27.02.1978г.



#### Рекомендации по выполнению задания.

1. Снять с приземной исходной карты значения температуры  $T_0$  и точки росы  $T_{до}$  в пунктах прогноза;
2. Построить методом обратного переноса прогностическую траекторию на 9 ч, используя прогностическую карту АТ<sub>850</sub> на 00 ч 27.02.1978г., ближайшую к сроку прогноза.
3. Снять в начальной точке переноса осредненные по площади значения температуры  $T_n$  и точки росы  $T_{дн}$ .
4. Оценить возможность появления низкой облачности и определить высоту её нижней границы по графикам Е.И. Гоголевой.

#### Отчетные материалы.

1. Текст прогноза записать в рабочей тетради.

#### Контрольные вопросы

1. Дайте определение тумана.
2. Назовите причины возникновения туманов.
3. Как подразделяются туманы в зависимости от их интенсивности и вертикальной мощности?
4. Как классифицируется облачность по высоте?
5. Как можно выделить облачные слои по аэрологической диаграмме?
6. Какие характеристики облачности необходимо знать при обеспечении полетов.

### **Лабораторная работа №12 Комплексный анализ атмосферных процессов**

Сущность комплексного анализа атмосферных процессов заключается в изучении состояния атмосферы в заданном районе с помощью карт погоды и других материалов. При комплексном анализе определяется расположение, смещение, свойства и эволюция воздушных масс, атмосферных фронтов, барических систем и условий погоды. Устанавливаются закономерности, которые были и существуют в развитии синоптических процессов и делаются выводы о предполагаемом их развитии.

Цель комплексного анализа — исходя из прошлого и настоящего в развитии синоптических процессов определить будущее, т. е. дать прогноз. Следовательно, комплексный анализ атмосферных процессов предшествует прогнозу и является его основой.

Основные принципы комплексного анализа: сопоставление (сравнение), показательность (репрезентативность), физическая логика, историческая последовательность и трехмерность.

В целях обеспечения полетов метеорологические подразделения авиационных объединений разрабатывают следующие основные виды авиационных прогнозов погоды:

- для обеспечения аэродромных и маршрутных полетов и перелетов;
- для оценки радиационной и химической обстановки;
- для обеспечения полетов беспилотных средств;
- для обеспечения запуска, поиска и эвакуации космических объектов и их экипажей;
- для обеспечения специальных заданий.

В метеорологических подразделениях авиационных частей и соединений разрабатываются только краткосрочные прогнозы и уточнения к ним.

Суточные прогнозы и уточнения к ним разрабатываются по территории базирования авиационного соединения (части) независимо от наличия полетов ежедневно к 17.00 на период с 18.00 текущего дня до 18.00 следующего дня (по местному времени ) отдельно на ночь ( с 18.00 до 06.00 ) и на день ( с 06.00 до 18.00 ).

Кроме того, на каждые 6 часов разрабатываются оперативные прогнозы по территории базирования авиационного соединения (части). Прогнозы погоды подразделяются по назначению, месту и времени.

Классификация прогнозов погоды показана на рис. 12.1.

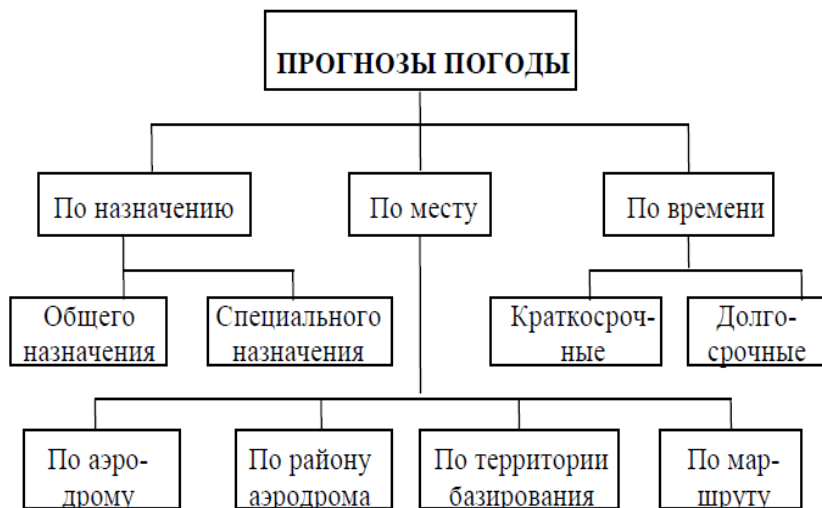


Рис.12.1. Виды прогноза погоды

По назначению прогнозы погоды делятся на прогнозы общего и специального назначения.

**Прогнозы погоды общего назначения** - прогнозы, разрабатываемые для

оценки характера метеорологической обстановки без учета специфики задач, выполняемых войсками.

**Прогнозы погоды специального назначения** - прогнозы, в которых отражаются ожидаемые метеорологические условия применительно к специфике выполняемых задач.

К ним относятся: авиационные прогнозы, прогнозы для оценки радиационной обстановки, прогнозы для обеспечения парашютных прыжков и десантирования войск и грузов, прогнозы для обеспечения полетов автоматических аэростатов, прогнозы для обеспечения подъема привязных аэростатов, прогнозы для обеспечения старта, поиска и эвакуации космических объектов и их экипажей, прогнозы для обеспечения заправки самолетов топливом в воздухе, прогнозы для поиска и эвакуации подвесок аэростатов, прогнозы для обеспечения взлета, приземления и полета по маршруту беспилотных средств.

**Прогнозы погоды по времени** подразделяются на **краткосрочные**, срок действия которых находится в пределах 36 часов от момента окончания его разработки, и **долгосрочные**, срок действия которых от момента их разработки составляет более 36 часов.

**Прогнозы погоды по месту** подразделяются на прогнозы погоды по аэродрому (пункту), по району аэродрома, по территории базирования и по маршруту полета.

**Прогноз погоды по аэродрому (пункту)** - прогноз, содержащий описание ожидаемого состояния погоды над заданным аэродромом (пунктом) и прилегающим к нему районом в радиусе 10-15 км.

**Прогноз погоды по району аэродрома** - прогноз, содержащий описание ожидаемого состояния погоды в районе аэродрома.

**Прогноз погоды по территории базирования** - прогноз, содержащий описание ожидаемого состояния погоды по территории базирования объединений, соединений и частей авиации ВС РК в зоне управления воздушным движением зонального центра ЕС ОВД по территории страны.

**Прогноз погоды по маршруту полета** - прогноз, содержащий описание ожидаемого состояния погоды на маршруте полета от аэродрома вылета до аэродрома посадки.

В краткосрочные прогнозы погоды включаются следующие данные:

- облачность (количество раздельно-общее и нижнего яруса, форма, высота нижней границы и верхней);
- явления погоды;
- горизонтальная видимость у поверхности земли;
- ветер у поверхности земли и на высотах;
- температура воздуха у поверхности земли.

Рекомендуется формулировать прогнозы именно в вышеуказанной последовательности [].

### Содержание задания

1. Оценить синоптическую обстановку по маршруту полета и дать её прогноз.
2. Разработать суточный прогноз по аэродрому вылета.
3. Разработать прогноз погоды по аэродромам вылета и посадки, маршруту полета, а также по запасному аэродрому.

### Исходные материалы

1. Синоптический материал из учебного авиационного метеорологического атласа.
2. Бланки АВ-5 и АВ-11.

### Рекомендации по выполнению задания

1. Для выполнения работы использовать трассу, а также заданную скорость полета (число М), указанные преподавателем.
2. Оценку синоптической обстановки по трассе провести по картам погоды из Учебного авиационного атласа. При этом обратить внимание на барические образования, через которые проходит маршрут полета, оценить стадию их развития, направление и скорость перемещения, а также эволюцию.
3. Разработку суточного прогноза и прогноза погоды по аэродрому и по маршрутам проводить с учетом требования Наставления по метеорологической службе авиации (НАМС-86). Запасной аэродром выбрать самостоятельно на удаление 300-500 км от указанного аэродрома посадки.
4. В качестве фактической погоды аэродромов условно использовать данные о погоде, нанесенные на синоптическую карту.

### Отчетные материалы

1. Разработанный суточный прогноз для аэродрома вылета, записанный на отдельном листе.
2. Разработанные прогнозы погоды для аэродромов вылета, посадки и запасного аэродрома.
3. Заполнить бланки АВ-5 и АВ-11.

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность комплексного анализа атмосферных процессов при метеорологическом обеспечении полетов?
2. Какие виды прогнозов составляются в метеорологических подразделениях авиационных объединений?
3. На какие сроки разрабатываются прогнозы погоды?
4. Данные каких метеовеличин включаются в краткосрочные прогнозы погоды?

5. Дайте определения прогнозов общего и специального назначения.

## Тестовые задания к части I

### *Тестовые задания по синоптической метеорологии*

1. Служба погоды - это система учреждений, осуществляющих:
  - 1) Сбор, обработку и хранение метеорологической информации.
  - 2) Анализ первичной и вторичной метеорологической информации.
  - 3) Распространение прогнозов погоды и штормовых предупреждений.
  - 4) Все перечисленные задачи входят в круг обязанностей службы погоды.
  - 5) В круг обязанностей службы погоды входит лишь второй пункт.
  
2. Погода это:
  - 1) Многолетний режим метеорологических условий в данной местности.
  - 2) Состояние атмосферы в определенный момент времени в данном районе.
  - 3) Наличие опасных для жизни и деятельности человека метеорологических явлений в определенный момент времени в данном районе.
  - 4) Изменение температуры воздуха в течение суток.
  - 5) Выпадение осадков.
  
3. Какой код используется для составления метеорологических телеграмм на сухопутных станциях?
  - 1) КН-09.
  - 2) КН-03.
  - 3) КН-04.
  - 4) КН-01.
  - 5) КН-05.
  
4. В какие сроки составляется основная приземная карта погоды?
  - 1) 00 СГВ.
  - 2) 09 СГВ.
  - 3) 15 СГВ.
  - 4) 21 СГВ.
  - 5) Во все сроки.
  
5. Какой из перечисленных ниже параметров состояния атмосферы не измеряется инструментально?
  - 1) Высота нижней границы облаков.
  - 2) Метеорологическая дальность видимости.

- 3) Относительная влажность воздуха.
- 4) Температура точки росы.
- 5) Скорость ветра.

6. Какая метеорологическая величина представлена на приземной синоптической карте в цифрах кода?

- 1) Температура воздуха.
- 2) Величина барической тенденции.
- 3) Характеристика барической тенденции.
- 4) Общее количество облаков.
- 5) Высота основания самых низких облаков.

7. На бланках синоптических карт не представлены:

- 1) Рельеф земной поверхности.
- 2) Крупные реки и водоемы.
- 3) Государственные границы.
- 4) Столицы государств.
- 5) Индексы метеорологических станций.

8. Какой цвет используется для выделения гололеда при анализе приземной карты погоды?

- 1) Желтый.
- 2) Зеленый.
- 3) Красный.
- 4) Синий.
- 5) Коричневый.

9. Какой символ означает, что на станции наблюдается 4 балла (3 октанта) общего количества облаков?

- 1) 
- 2) 
- 3) 
- 4) 
- 5) 

10. Какие характеристики состояния атмосферы, получаемые с ИСЗ нашли наибольшее практическое применение в работе синоптиков?

- 1) Положение облачных массивов.
- 2) Температура подстилающей поверхности.
- 3) Данные радиационного баланса системы Земля-атмосфера.
- 4) Вертикальное распределение температуры воздуха.
- 5) Распределение ледяного и снежного покрова.

11. Какая видимость наблюдается на станции, если на карте нанесены цифры кода 96?

- 1) 46 км.
- 2) 9,6 км.
- 3) 10 км.
- 4) 4 км.
- 5) 96 км.

12. На какую интенсивность дождя указывает символ ?

- 1) Слабый непрерывный.
- 2) Умеренный непрерывный.
- 3) Умеренный с перерывами.
- 4) Сильный с перерывами.
- 5) Сильный непрерывный.






13. Назовите цифру кода, которая означает, что на станции в срок наблюдалось 7-8 баллов облаков нижнего яруса.

- 1) 4.
- 2) 5.
- 3) 6.
- 4) 7.
- 5) 8.

14. На синоптической карте общее количество облаков изображено знаком 4. Сколько баллов это обозначает?

- 1) 2-3.
- 2) 7-8.
- 3) 4.
- 4) 6.
- 5) 5.

15. Укажите символ означающий, что на станции в срок наблюдения общее количество облаков составило 7-8 баллов.

- 1) 
- 2) 
- 3) 
- 4) 
- 5) 



16. В каком случае наблюдение метеорологической видимости на станции проводилось визуально?

- 1) 18.
- 2) 58.
- 3) 78.
- 4) 88.
- 5) 98.

17. Укажите скорость (м/с), если на синоптической карте стоит знак



- 1) 22.
- 2) 25.
- 3) 55.
- 4) 17.
- 5) 32.

18. Какая из названных метеорологических величин наносится на карту погоды в цифрах кода?

- 1) Общее количество облаков.
- 2) Точка росы.
- 3) Видимость.
- 4) Атмосферное давление.
- 5) Направление ветра.

19. Каким образом на синоптических картах наносится направление ветра?

- 1) В цифрах кода.
- 2) Условным знаком.
- 3) В румбах.
- 4) В градусах.
- 5) Любым из перечисленных способов.

20. С какой операции рекомендуется начинать графический анализ приземной карты погоды?

- 1) Проведение атмосферных фронтов.
- 2) Проведение изобар.
- 3) Анализ поля изотенденций.
- 4) Выделение районов, занятых осадками.
- 5) Определение положения центров циклонов и антициклонов.

21. В чем заключается первичный анализ приземной карты погоды?

- 1) В проведении изолиний (изобары, изотенденции).
- 2) В выделении зон осадков и атмосферных явлений (подъем карты).
- 3) В выполнении различных надписей, облегчающих чтение карты.

- 4) В последовательном выполнении всех перечисленных операций.
- 5) В анализе поля давления (проведение изобар).

22. Распределение какой метеорологической величины называется изаллобарическим полем?

- 1) Атмосферного давления.
- 2) Абсолютного геопотенциала.
- 3) Барической тенденции.
- 4) Осадков.
- 5) Направления и скорости ветра.

23. Как называются линии равных значений плотности воздуха?

- 1) Изогоны.
- 2) Изогиеты.
- 3) Изопикны.
- 4) Изотахи.
- 5) Изотермы.

24. На картах барической топографии не проводятся:

- 1) Изогипсы.
- 2) Изотенденции.
- 3) Изотахи.
- 4) Изотермы.
- 5) Изаллогипсы.

25. Изаллотермы - это линии равных значений:

- 1) Температуры воздуха.
- 2) Температуры точки росы.
- 3) Изменения высоты изобарической поверхности.
- 4) Изменения температуры воздуха.
- 5) Изменения дефицита точки росы.

26. На карте барической топографии на месте характеристики влажности нанесены цифры кода 54. Укажите правильное значение дефицита влажности (0С).

- 1) 0,54.
- 2) 5,4.
- 3) 5,0.
- 4) 4,0.
- 5) 0,4.

27. Какая характеристика влажности используется в анализе карт барической топографии?

- 1) Температура точки росы.

- 2) Дефицит точки росы.
- 3) Относительная влажность.
- 4) Удельная влажность.
- 5) Парциальное давление водяного пара.

28. При каком значении дефицита точки росы (DD) воздух считается влажным?

- 1) 1 °C и менее.
- 2) 2 °C и менее.
- 3) 3 °C и менее.
- 4) 4 °C и менее.
- 5) 5 °C и менее.

29. На месте высоты изобарической поверхности на карте АТ нанесены цифры 875. Какая это карта?

- 1) АТ500.
- 2) АТ400.
- 3) АТ300.
- 4) АТ200.
- 5) АТ100.

30. Какова средняя высота поверхности 300 гПа?

- 1) 6,5 км.
- 2) 27,0 км.
- 3) 9,0 км.
- 4) 10,0 км.
- 5) 12,5 км.

31. Высотная термобарическая карта - это:

- 1) Карта АТ700.
- 2) Карта АТ500.
- 3) Карта АТ300.
- 4) Карта ОТ 500/1000
- 5) Совмещенная карта АТ700 и ОТ 500/1000

32. Какая из перечисленных операций не входит в анализ пространственных вертикальных разрезов?

- 1) Проведение изотех.
- 2) Обозначение границы тропопаузы.
- 3) Анализ фронтальных разделов.
- 4) Проведение изотерм.
- 5) Проведение изограмм.

33. Что входит в анализ пространственных вертикальных разрезов?

- 1) Проведение изобар.
- 2) Проведение изогипс.
- 3) Проведение изаллобар.
- 4) Выделение зон сухого и влажного воздуха.
- 5) Анализ максимального ветра.

34. В анализ аэрологических диаграмм не входит:

- 1) Построение кривой стратификации.
- 2) Построение кривой состояния.
- 3) Построение дегепраммы.
- 4) Выделение зон струйного течения.
- 5) Выделение площадей положительной или отрицательной энергии неустойчивости.

35. На аэрологической диаграмме не проведены:

- 1) Сухие адиабаты.
- 2) Изограммы.
- 3) Влажные адиабаты.
- 4) Изогипсы.
- 5) Изобары.

36. Что входит в обработку АД?

- 1) Проведение изотерм.
- 2) Проведение изобар.
- 3) Расчет изменения высот изобарических стандартных поверхностей.
- 4) Определение характера фронтального раздела.
- 5) Выделение фронтальных разделов.

37. Начиная с какой скорости проводятся изотахи при обработке карты максимального ветра?

- 1) 40 м/с.
- 2) 30 м/с.
- 3) 25 м/с.
- 4) 20 м/с.
- 5) 15 м/с.

38. Какую информацию можно получить по карте нефанализа?

- 1) О границах залегания снежного покрова.
- 2) О границах распространения заморозков.
- 3) О распределении сухого и влажного воздуха.
- 4) О вертикальной мощности облаков.
- 5) О состоянии подстилающей поверхности.

39. Что представляет собой барическая система?

- 1) Циклоны и ложбины.
- 2) Антициклоны и гребни.
- 3) Деформационные поля.
- 4) Область с определенным распределением атмосферного давления.
- 5) Все определения верны.

40. Какая из приведенных характеристик относится к циклону (северное полушарие)?

- 1) Движение воздуха по часовой стрелке.
- 2) Небольшие барические градиенты в центральной части.
- 3) Преобладание восходящих вертикальных движений.
- 4) Отрицательное значение лапласиана давления (геопотенциала).
- 5) Дивергенция (расходимость) воздушных течений.






41. Какая из приведенных характеристик не относится к антициклону (северное полушарие)?

- 1) Движение воздуха по часовой стрелке.
- 2) Малые барические градиенты в центральной части.
- 3) Большие барические градиенты в центральной части.
- 4) Дивергенция воздушных течений в центральной части.
- 5) Отрицательное значение лапласиана давления (геопотенциала).

42. Деформационным полем называется:

- 1) Замкнутая область повышенного давления с движением воздуха по часовой стрелке.
- 2) Замкнутая область повышенного давления с движением воздуха против часовой стрелке.
- 3) Малоградиентное поле пониженного давления.
- 4) Малоградиентное поле повышенного давления.
- 5) Область, составленная из двух накрестлежащих циклонов и двух накрестлежащих антициклонов.

43. Укажите обозначение фронта окклюзии.

- 1) 
- 2) 
- 3) 
- 4) 
- 5) 

44. Мургабский циклон на территорию Средней Азии выходит в виде:

- 1) Теплого верхнего фронта.
- 2) Волны.
- 3) Теплого основного фронта.
- 4) Окклюдированного циклона.
- 5) Теплого сектора.

45. В какое время года чаще всего наблюдается северо-западное вторжение?

- 1) Зимой.
- 2) Весной.
- 3) Летом.
- 4) Осенью.
- 5) Равновероятно в любое время года.

46. Какое явление погоды характерно для районов Средней Азии и юга Казахстана в период установления летней термической депрессии?

- 1) Гроза.
- 2) Шквал.
- 3) Град.
- 4) Пыльная буря.
- 5) Туман.



47. Какие единицы измерения скорости ветра используются в прогнозах общего пользования?

- 1) м/с.
- 2) Узлы.
- 3) Баллы.
- 4) км/ч.
- 5) Румбы.

48. Из каких облаков могут выпадать морозящие осадки?

- 1) St, Sc.
- 2) Cs-As-Ns.
- 3) Ci, Cs.
- 4) Cu.
- 5) Ac.

49. Из каких облаков выпадают обложные осадки?

- 1) 
- 2) 

3) 

4) 

5) 

50. Из каких облаков выпадают ливневые осадки?

1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

Ответы:

1-4 11-4 21-4 31-5 41-3

2-2 12-3 22-3 32-5 42-5

3-4 13-3 23-3 33-4 43-5

4-1 14-5 24-3 34-4 44-3

5-4 15-4 25-4 35-4 45-3

6-5 16-5 26-2 36-5 46-4

7-5 17-5 27-2 37-2 47-1

8-3 18-3 28-2 38-1 48-1

9-5 19-2 29-3 39-5 49-2

10-1 20-2 30-3 40-3 50-4

## Тестовые задания к части II

1. Какие основные и переходные слои имеет атмосфера?

- 1) Основных слоя – тропосфера и стратосфера.
- 2) Слоя – тропосфера, тропопауза, стратосфера.
- 3) Слоев- тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера.
- 4) Атмосфера не имеет деления на слои.
- 5) Основных слоев и 4 переходных.

Основные слои : тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера, экзосфера. Переходные слои: тропопауза, стратопауза, мезопауза, термопауза.

2. Что такое аэрологическая диаграмма и ее основное назначение?

- 1) АД-это расчетный график распределения температуры и влажности с высотой.
- 2) АД- это графическое изображение энергии неустойчивости.
- 3) АД- это график термодинамического состояния атмосферы, строящийся по данным зондирования №
- 4) АД-это распределение температуры и давления в стандартной атмосфере.
- 5) АД- это номограмма для расчета  $P$ ,  $T$  и влажности воздуха.

3. Чем в основном создается подъемная сила самолета?

- 1) Фюзеляжем.
- 2) Хвостовой частью.
- 3) Крылом.
- 4) Рулем высоты.
- 5) Закрылками.

4. Какая сила (при условии симметричного расположения крыла относительно вертикальной плоскости) не действует на самолет в горизонтальном полете?

- 1) Сила лобового сопротивления.
- 2) Сила тяги.
- 3) Подъемная сила.
- 4) Боковая сила.
- 5) Сила тяжести.

5. Потребная скорость полета ( $V_{пт}$ )- это:

- 1) Воздушная скорость, при которой выполняется равновесие сил.
- 2) Практическая минимальная скорость полета на заданной высоте.
- 3) Теоретическая минимальная скорость, которая позволяет совершать горизонтальный полет.



- 4) Скорость, необходимая для выполнения горизонтального полета.
- 5) 1 и 4 варианты вместе.

6. Какой из перечисленных элементов не относится к этапу взлета самолета?

- 1) Разбег.
- 2) Выравнивание.
- 3) Подъем.
- 4) Отрыв.
- 5) Разгон.

7.СА-это:

- 1) Атмосфера, в которой значения температуры и давления воздуха не изменяются в течение года для всех широт.
- 2) Атмосфера, значения которой взяты на уровне моря.
- 3) Постоянная атмосфера, не зависящая от места полетов, времени года и суток, параметры которой взяты для широты 40-50 градусов.
- 4) Атмосфера, в которой за параметры берутся средние многолетние значения за 10лет, изменяющиеся по сезонам года.
- 5) Атмосфера, в которой многолетние значения влажности не изменяются в течение года.

8.Относительно чего определяется высота полета?

- 1) Только относительно аэродрома вылета.
- 2) Относительно самой низкой части рельефа в радиусе ширины воздушного коридора.
- 3) Относительно самой высокой части над пролетаемой местностью.
- 4) Только относительно уровня моря.
- 5) Относительно уровня мирового океана при стандартных условиях.

9.Потолок самолета-это:

- 1) Наибольшая высота, на которую может подняться ВС при определенном режиме полета.
- 2) Высота, на которой избыток тяги достигает самых больших значений.
- 3) Высота, на которой вертикальная скорость набора высоты наибольшая.
- 4) Минимальная высота, достигаемая за счет потери скорости.
- 5) Минимальная высота, достигаемая за счет уменьшения веса самолета.

10. Какая из перечисленных характеристик не относится к предельно допустимой высоте полета (Ннд)?

- 1) Ннд на 1-2 км меньше теоретического потолка.
- 2) Ннд на 1-2 км меньше практического потолка.
- 3) Ннд относится к стандартным условиям.
- 4) Вертикальная скорость набора высоты вблизи Ннд = 3-4 м./сек.
- 5) Ннд зависит от температуры воздуха.

11. Какие характеристики оказывают наибольшее влияние на силу тяги двигателя ВС?

- 1) Технические характеристики самолета.
- 2) Высота полета.
- 3) Давление воздуха.
- 4) Температура и плотность воздуха.
- 5) Влажность воздуха.

12. Как изменяется сила тяги с высотой?

- 1) Равномерно уменьшается.
- 2) Равномерно увеличивается.
- 3) С высоты 11 км уменьшается более интенсивно.
- 4) В тропосфере увеличивается, в стратосфере уменьшается.
- 5) Остается постоянной.

13. Часовой расход топлива не зависит от:

- 1) Частоты вращения вала.
- 2) Скорости полета.
- 3) Температура воздуха.
- 4) Давления воздуха.
- 5) Режима полета.

14. При определении зависимости потребной воздушной скорости ( $V_{метр}$ ) горизонтального полета от температуры и давления воздуха справедливо следующее высказывание:

- 1) Температура и давление воздуха не оказывают влияния на  $V_{метр}$ .
- 2) Чем ниже температура воздуха, тем больше  $V_{метр}$ .
- 3) Чем выше давление воздуха, тем больше  $V_{метр}$ .
- 4) Чем выше температура воздуха, тем больше  $V_{метр}$ .
- 5) Чем выше температура и давление воздуха, тем меньше  $V_{метр}$ .

15. Какой из физических параметров атмосферы оказывает наиболее существенное влияние на длину разбега и всей взлетной дистанции?

- 1) Давление.

- 2) Влажность.
- 3) Температура.
- 4) Плотность.
- 5) Все параметры одинаково

16. Чем обусловлен кинетический нагрев сверхзвуковых самолетов?

- 1) Сжимаемостью воздуха.
- 2) Торможением.
- 3) Трением.
- 4) Превращением кинетической энергии в тепловую.
- 5) Всеми перечисленными факторами.

17. Что такое эквивалентный ветер?

- 1) Ветер, направление которого определяется той частью горизонта, куда дует ветер.
- 2) Ветер, направление которого определяется той частью горизонта, откуда дует ветер.
- 3) Расчетный ветер, направленный вдоль маршрута полета.
- 4) Ветер, направленный под углом 90 к маршруту полета.
- 5) Ветер, измеренный с помощью шара – пилота или радио-пилота.

18. Что не является следствием влияния встречного ветра на взлет и посадку ВС?

- 1) Уменьшение скорости отрыва и посадочной скорости.
- 2) Уменьшение длины разбега и пробега ВС.
- 3) Увеличение путевой устойчивости и управляемости самолета в начале движения при взлете.
- 4) Увеличение лобового сопротивления.
- 5) Увеличение времени разбега и пробега ВС.

19. Наиболее сильные сдвиги ветра наблюдаются в слое:

- 1) От земли до 100 метров.
- 2) 100-200 метров.
- 3) 200-300 метров.
- 4) 300-400 метров.
- 5) Выше 500 метров.

20. Что включает в себя понятие оптимизации маршрута полета?

- 1) Выбор маршрута по наименьшей протяженности.
- 2) По количеству заправляемого топлива.
- 3) По экономичности.
- 4) По безопасности полетов.
- 5) Все элементы вместе.

21. Для чего используется навигационный треугольник скоростей?
- 1) Для определения вектора ветра у земли и на высотах.
  - 2) В штурманских расчетах без учета метеорологических параметров.
  - 3) В штурманских расчетах, учитывая скорость ВС, скорость ветра и эквивалентный ветер.
  - 4) Только для ввода в автоматические навигационные устройства.
  - 5) Для определения путевого угла.

22. Сдвиг ветра – это
- 1) Изменение скорости ветра в горизонтальном направлении.
  - 2) Изменение скорости ветра по вертикали.
  - 3) Векторное изменение ветра как по вертикали, так и по горизонтали.
  - 4) Сильный ветер на высотах.
  - 5) Изменение скорости ветра в горной местности.

23. Согласно критериям интенсивности, какой сдвиг считается сильным, если вертикальный сдвиг в м/сек на 30 метров высоты составляет:

- 1) 0,1 – 2,0.
- 2) 1-3,0.
- 3) 3,1-4,0.
- 4) 4,1-6,0.
- 5) >6.

24. Взлет и посадка ВС производится против ветра, т.к. встречный ветер:

- 1) Уменьшает скорость отрыва и посадочную скорость.
- 2) Увеличивает длину разбега при взлете.
- 3) Уменьшает путевую устойчивость.
- 4) Уменьшает управляемость.
- 5) Увеличивает длину пробега при посадке.

25. Взлетно – посадочные качества самолета характеризуются:

- 1) Временем разбега.
- 2) Длиной посадочной дистанции.
- 3) Длиной взлетной дистанции.
- 4) Временем пробега.
- 5) Всем и факторами вместе.

26. Причиной появления конвекции является:

- 1) Сила трения.
- 2) Нестационарность процессов.

- 3) Сила турбулентной вязкости.
- 4) Сила плавучести.
- 5) Сдвиг ветра с высотой.

27. Поражение ВС электрическими разрядами чаще отмечается на высоте

- 1) 0,5-4 км.
- 2) 4-6км.
- 3) 0-1 км.
- 4) 6-8 км.
- 5) 0-0,5 км.

28. Наибольшее число поражений ВС электрическими разрядами наблюдается в:

1. NS – AS без осадков.
2. NS – AS и осадках.
3. В зоне грозовых облаков.
4. St и SC .
5. Ci- CS.

29. на каких этапах полета ВС вероятность обледенения наименьшая:

- 1) Набор высоты.
- 2) Снижение.
- 3) Заход на посадку.
- 4) Горизонтальный полет.
- 5) Взлет.

30. Какое утверждение неверно при возникновении обледенения?

- 1) Увеличивается масса самолета.
- 2) Уменьшается расход топлива.
- 3) Уменьшается вертикальная скорость набора высоты.
- 4) Возрастает потребная тяга для полета на заданной скорости.
- 5) Снижается потолок.

31. Под интенсивностью обледенения понимается:

- 1) Масса льда, отложившаяся на передней кромке крыла.
- 2) Суммарное отложение льда за время пребывания ВС в зоне обледенения.
- 3) Максимальная скорость нарастания льда на хвостовой части ВС.
- 4) Масса льда, отложившаяся на любых частях фюзеляжа.
- 5) Масса льда, отложившаяся в единицу времени на передней кромке крыла.

32. К слабому обледенению относится обледенение с интенсивностью:

- 1) Более 5мм/мин.
- 2) более 1мм/мин.
- 3) Менее 0,5 мм/мин.
- 4) От 0,6 до 0,8 мм/мин.
- 5) От 0,8 до 1 мм/мин.

33. при каких скоростях полета чаще всего возникает обледенение?

- 1) 300-350
- 2) 400-500
- 3) 600-700
- 4) 800-900
- 5) > 1000

34. Что подразумевается под кинетическим нагревом самолета?

- 1) Нагрев воздуха в критической точке носа крыла.
- 2) Нагрев воздуха в точке, где скорость воздушного потока равна 0С.
- 3) Превышение температуры окружающего воздуха над температурой в критической точке.
- 4) Превышение температуры носа крыла над температурой окружающего воздуха в облаках.
- 5) Превышение температуры носа крыла над температурой окружающего воздуха в безоблачной среде.

35. Какая часть вертолетов подвержена в большей степени обледенению и отличается большим своеобразием?

- 1) Выступающие части фюзеляжа.
- 2) Лопасты винтов.
- 3) Передние стекла кабины пилота.
- 4) Шасси.
- 5) Поверхности входных устройств двигателя.

36. Что подразумевается под пассивными способами борьбы с обледенением?

- 1) Применение противообледенительных средств.
- 2) Изучение метеоусловий на различных высотах и правильный выбор эшелона.
- 3) Определение возможности обхода зоны обледенения.
- 4) Своевременный выход из зоны обледенения.
- 5) 2-4 вместе.

37. Сочетание минимальных значений каких метеовеличин входит в понятие минимума погоды?

- 1) Видимости ориентиров и истинной высоты НГО.
- 2) Высоты принятия решения.
- 3) Силы бокового ветра и видимости ориентиров.
- 4) Истинной высоты НГО и бокового ветра.
- 5) Высоты принятия решения и истинного значения скорости ветра на ВПП.

38. Наклонная дальность видимости НДВ - это

- 1) Максимальное расстояние, с которого видны и опознаются ориентиры днем и световые ориентир ночью.
- 2) Предельное расстояние, на котором с борта ВС данный объект можно отличить от общего фона по своей форме, цвету и яркости.
- 3) Видимость, ограниченная кривизной земной поверхности.
- 4) Расстояние с глиссады снижения до наиболее отдаленного видимого ориентира.
- 5) Высота, на которой сливается шар – пилот или другой объект, находящейся в воздухе.

39. Угол атаки – это угол между:

- 1) Вектором полной аэродинамической силы и направлением воздушного потока.
- 2) Вектором лобового сопротивления и перпендикуляром .
- 3) Вектором подъемной силы и хордой крыла.
- 4) Направлением воздушного потока и хордой крыла.
- 5) Вектором боковой силы и направлением воздушного потока.

40. Число Маха характеризует:

- 1) Условия обтекания самолета воздушным потоком.
- 2) Величину сжимаемости воздуха.
- 3) Отношение скорости полета к скорости звука.
- 4) Зависимость скорости полета от скорости звука.
- 5) Все ответы правильные.

41. Наибольшую опасность для скоростной авиации в условиях возможного обледенения представляют облака:

- 1) Слоисто-дождевые.
- 2) Высоко-слоистые.
- 3) Кучево-дождевые.
- 4) Слоистые.
- 5) Высоко-кучевые.

42. Возникновение ТЯН в свободной атмосфере обусловлено:

- 1) Наличием инверсионных слоев.
- 2) Процессами облакообразования.

3) Термодинамическими, а в горных районах орографическими причинами.

4) Адвекцией холодного воздуха на теплую подстилающую поверхность.

5) Неодинаковым нагреванием различных участков подстилающей поверхности.

43. Какой вид разрезов используется чаще всего при метеообеспечении авиации

1) Пространственный.

2) Временной.

3) Пространственно-временной.

4) Горизонтальный профиль распределения метео величин.

5) Вертикальный профиль.

44. Облачность, в которую категорически запрещается входить инструкцией полета является:

1) Сплошная *Sti Sc*.

2) Плотные *As*.

3) *Cb*.

4) Плоские кучевы.

5) *Ns*.

45. Какую информацию невозможно получить с помощью метеорологических спутников Земли, используемую аэродромным и метеорологическими органами

1) Форма, количество облаков.

2) Вертикальное распределение температуры и влажности.

3) Данные о ветре на уровне ВГО.

4) ВГО.

5) Водность облаков.

46. Какая задача не входит в орнитологическое обеспечение безопасности полетов

1) Информация о фактической и ожидаемой погоде на аэродроме.

2) Информация о фактической и ожидаемой погоде орнитологической обстановки на аэродроме.

3) Мероприятия по устранению факторов, привлекающих птиц на аэродромы.

4) Своевременное предупреждение об усложнении орнитологической обстановки.

5) Информация о возникновении опасной ситуации.



47. На каком этапе полета столкновение с птицами имеет наименьшую повторяемость

- 1) Взлет.
- 2) Посадка.
- 3) Набор высоты.
- 4) Горизонтальный полет.
- 5) Снижение.

48. Метеорологическая информация-это....

1) Любое сообщение, касающееся фактических или ожидаемых метеоусловий.

2) Текст включающий метеорологическую информацию под соответствующим заголовком.

3) Оценка одного метеоэлемент.

4) Оценка нескольких метеоэлементов.

5) Сообщение о результатах метеорологических наблюдений за определенный срок.

49. Минимум аэродрома – это ....

1) Минимально допустимая высота НГО, при которой разрешается взлет и посадка ВС.

2) Минимально допустимая высота НГО, допустимое значение видимости.

3) Минимально допустимая высота НГО, вертикальная видимость.

4) Минимально допустимая высота НГО, ВПР.

5) Все перечисленные величины входят в понятие минимума.

50. Перегрузка, которую испытывает ВС при болтанке не зависит от:

1) Типа самолета.

2) Высоты полета.

3) Скорости вертикального порыва.

4) Давления на эшелоне полета.

5) Скорости полета.

1- 5	10- 2	19- 1	28- 2	37-1	46-5
2- 3	11-4	20- 5	29- 4	38-4	47- 4
3- 3	12-3	21- 3	30- 2	39-4	48- 5
4- 4	13- 4	22- 3	31- 5	40-5	49- 2
5- 5	14- 4	23- 4	32- 3	41-3	50- 4
6- 2	15- 4	24- 1	33- 2	42-3	
7- 3	16- 5	25- 5	34- 5	43-3	
8- 5	17- 3	26- 4	35- 2	44-3	
9- 1	18- 5	27- 5	36- 5	45-3	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977.-711с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология.-Л.: Гидрометиздат, 1991.-616 с.
3. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. – С-Пб.: Гидрометеиздат. 2005. – 420 с.
4. В.А.Бугаев., В.А. Джорджио., Е.М.Козик., М.А. Петросянц., А.Я.Пшеничный., Н.Н. Романов., О.Н.Чернышева. Синоптические процессы Средней Азии. – Ташкент.:Академии наук Узбекской ССР, 1957.-475с.
5. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации вооруженных сил СССР, М. Военное издательство Министерства обороны ССР, 1981.- с.
6. Синоптическая и авиационная метеорология,-Л.: Военное издательство, Москва, 1985- с
7. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды.Ч.2. В.4. Казахстан. Л.: Гидрометеиздат,1987.
8. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометиздат, 1986.Ч1.
9. Практикум по синоптической метеорологии./под.ред.В.И.Воробьева.-Спб.:изд. РГГМУ,2005.-304с.
10. Богаткин О.Г., Говердовский В.Ф., Еникеева В.Д. Практикум по авиационной метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1987 г. – 181с.
11. В.В. Валькова, Л.М.Шушарина, А.С. Нысанбаева Методические указания к анализу атмосферных фронтов, Алматы Қазақ университеті, 2005,
12. Шушарина Л
- 13.Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Ч.1,2. - Л.: Гидрометеиздат, 1974-151с.
- 14.Код для составления ежедневных метеорологических телеграмм на сухопутных станциях КН-01.Л.: Гидрометеиздат,1982- 55с.
- 15.Код для передачи данных вертикального зондирования атмосферы КН-04. - Л.: Гидрометеиздат, 1971- 31с.
- 16.О.Г. Богаткин., Г.Г.Тараканов Учебный авиационный метеорологический атлас.-Л.: Гидрометеиздат,1990.-194с.

Практикум

Шушарина Людмила Матвеевна  
Мусралинова Гульнур Турарбековна

**Практикум по синоптической и авиационной метеорологии**  
*(для студентов метеорологов военной кафедры)*

Издается в авторской редакции

Подписано в печать \_\_\_\_ . \_\_\_\_ .2019.  
Тираж 100. Формат 60x84 1/16 Бумага типографская № 1.  
Заказ \_\_\_\_ . Цена договорная

Издание Казахского национального университета  
имени аль-Фараби  
Учебно-издательский центр КазНУ  
050040, г.Алматы, проспект аль-Фараби 71.