

Министерство образования и науки Украины
Государственная летная академия Украины

Г.П. Лещенко

АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Утверждено Министерством образования и
науки Украины в качестве учебника
для высших учебных заведений

Кировоград
2009

УДК 551.5 (075.3)
ББК 26.234.6
39.57
Л 54

Лещенко Г.П. Авиационная метеорология: Учебник. –
Кировоград: ГЛАУ, 2009. – 488 с.

Рассмотрены основные сведения о составе и строении атмосферы, метеорологических величинах и явлениях, атмосферных образованиях и физических процессах, протекающих в атмосфере. Проанализировано влияние метеорологических факторов на выполнение полетов и обслуживание воздушного движения. Особое внимание уделено документам и правилам, регламентирующим метеорологическое обеспечение международной аэронавигации.

Учебник предназначен для преподавателей, курсантов и слушателей высших учебных заведений, летного и диспетчерского состава гражданской авиации. Может быть полезен для работников гидрометеорологической службы, осуществляющих метеообеспечение авиации.

Ил. 141, табл. 24 , библиогр. 39 назв., прилож. 8.

Утверждено Министерством образования и науки Украины в качестве учебника для высших учебных заведений. Письмо № от 2009. Протокол комиссии Учебно-методического совета Министерства образования и науки Украины № от 2009.

Рецензенты:

проф. Белоусова Л.Ю. (зав. кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации);

проф. Кривульченко А.И. (зав. кафедрой Кировоградского государственного педагогического университета);

Тысинюк Н.М. (начальник Кировоградской авиационной метеорологической станции).

ISBN 978-966-7878-27-6

© Г.П. Лещенко

Авиационная метеорология, 2009

© Компьютерная верстка

Изд-во ГЛАУ, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ	стр.	стр.
Введение.....	11	
Глава 1. Атмосфера Земли и ее строение	19	
1.1. Общие сведения об атмосфере Земли	19	
1.2. Методы исследования атмосферы	20	
1.3. Состав атмосферного воздуха	22	
1.4. Строение атмосферы	25	
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	33	
Глава 2. Основные физические характеристики атмосферы.....	35	
2.1. Температура воздуха	35	
2.1.1.Общие сведения о температуре воздуха и методах ее измерения	35	
2.1.2.Источники и процессы нагревания воздуха	38	
2.1.3.Изменение температуры воздуха с высотой	42	
2.1.4.Слои инверсии (изотермии), их роль в формировании условий погоды и влияние на полеты	44	
2.2. Влажность воздуха	48	
2.2.1.Понятие о влажности воздуха и методах ее измерения	48	
2.2.2.Характеристики влажности воздуха	50	
2.2.3.Процессы насыщения воздуха водяным паром	53	
2.3. Атмосферное давление	54	
2.3.1.Общие сведения об атмосферном давлении и методах его измерения	54	
2.3.2.Изменение атмосферного давления с высотой	57	
2.3.3.Барометрические формулы	60	
2.3.4.Барическая ступень	63	
2.3.5 Понятие о геопотенциале	64	
2.3.6.Основные формы барического поля	65	
2.3.7.Информация о давлении, используемая при метеообеспечении полетов	67	
2.4. Плотность сухого и влажного воздуха	68	
2.5. Стандартная атмосфера	70	
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	72	
Глава 3. Влияние физических характеристик атмосферы на эксплуатацию воздушных судов	75	
3.1. Влияние физических характеристик на взлет и посадку самолетов	75	
3.2. Влияние физических характеристик на располагаемую тягу двигателей	79	
3.3. Влияние физических характеристик на часовой расход топлива	80	
3.4. Влияние физических характеристик на диапазон скоростей	81	
3.5. Влияние физических характеристик на показания указателя скорости	83	
3.6. Влияние физических характеристик на предельно допустимую высоту полета	84	
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	85	
Глава 4. Ветер и его влияние на полет	86	
4.1. Общая характеристика ветра	86	
4.2. Силы, действующие в атмосфере	89	
4.2.1.Сила горизонтального барического градиента	89	
4.2.2.Отклоняющая сила вращения Земли – сила Кориолиса	91	
4.2.3.Сила трения	92	
4.2.4.Центробежная сила	92	
4.3. Градиентный ветер и его разновидности	93	
4.4. Движение воздуха в слое трения	95	
4.5. Изменение ветра с высотой. Термический ветер	97	
4.6. Распределение ветра в областях низкого и высокого давления у земли и на различных высотах	102	
4.7. Реальный ветер и его влияние на взлет, посадку и полеты по воздушным трассам	105	
4.8. Методы измерения ветра	111	
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	113	

	стр.		стр.
Глава 5. Элементы термодинамики атмосферы	115	Глава 8. Синоптические процессы	184
5.1. Виды вертикальных движений воздуха и причины их возникновения	115	8.1. Понятие об общей циркуляции атмосферы	184
5.2. Адиабатические процессы в атмосфере	120	8.2. Воздушные массы, их классификация, условия погоды и полетов	193
5.3. Уровни конденсации и конвекции	123	8.3. Атмосферные фронты, их классификация, условия погоды и полетов	199
5.4. Вертикальная устойчивость атмосферы	127	8.4. Барические системы, условия погоды и полетов в них	214
5.5. Аэрологическая диаграмма, ее использование для определения различных характеристик атмосферы и метеорологических условий полетов	131	Вопросы для самопроверки и контроля знаний	226
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	139	Глава 9. Опасные метеорологические явления	228
Глава 6. Облака, осадки и их влияние на полеты	141	9.1. Явления погоды в нижнем слое тропосферы, опасные для полетов или их осложняющие	229
6.1. Условия образования облаков, их микроструктура и классификация	141	9.2. Туманы, условия их образования и классификация	231
6.2. Характеристика кучевообразных, слоистообразных и волнистообразных облаков	145	9.3. Обледенение воздушных судов, причины его возникновения и факторы, влияющие на его интенсивность	235
6.2.1. Кучевообразные облака	145	9.3.1. Виды и формы отложения льда на поверхности воздушных судов	238
6.2.2. Слоистообразные облака	148	9.3.2. Влияние обледенения на аэродинамические и летные характеристики воздушных судов	241
6.2.3. Волнистообразные облака	151	9.3.3. Рекомендации по выполнению полетов и управлению воздушным движением в зонах обледенения	245
6.3. Структура нижней и верхней границ облачности	152	9.4. Турбулентность атмосферы, причины возникновения и факторы, влияющие на ее интенсивность	246
6.4. Определение характеристик облачности на аэродромах	153	9.4.1. Прогнозирование турбулентности в атмосфере	252
6.5. Осадки, их формы и виды. Влияние осадков на полеты	160	9.4.2. Рекомендации по выполнению полетов и управлению воздушным движением в зонах турбулентности	254
6.6. Понятие об искусственных воздействиях на облака и туманы с целью их рассеяния	166	9.5. Грозы, условия образования и стадии развития	255
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	168	9.5.1. Электризация воздушных судов	265
Глава 7. Видимость и ее влияние на полеты	171	9.5.2. Классификация гроз	267
7.1. Дальность видимости и ее зависимость от различных факторов	171	9.5.3. Методы наблюдения за грозами	268
7.2. Виды видимости	173	9.5.4. Рекомендации по выполнению полетов и управлению воздушным движением в зонах грозовой деятельности	271
7.3. Определение видимости на аэродромах	176	9.6. Сдвиги ветра в приземном слое, их влияние на выполнение полетов	273
7.4. Минимумы погоды	180	9.6.1. Рекомендации по выполнению полетов и управлению воздушным движением в условиях сдвигов ветра	283
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	183		

	стр.		стр.
9.7. Вулканический пепел	284	11.3. Международный авиационный метеорологический код TAF	342
9.7.1. Общая характеристика вулканов и вулканической деятельности	284	11.4. Приземные карты погоды	351
9.7.2. Влияние вулканического пепла на выполнение полетов	287	11.5. Карты барической топографии	355
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	288	11.6. Карты тропопаузы	362
Глава 10. Высотные и географические особенности метеорологических условий полетов	293	11.7. Карты максимальных ветров	365
10.1. Роль тропопаузы в погодных процессах на больших высотах	294	11.8. Общие сведения о прогнозах погоды	367
10.2. Струйные течения, их классификация, условия образования и полетов в них	295	11.9. Правила перемещения и эволюции воздушных масс, атмосферных фронтов и барических систем	370
10.2.1. Рекомендации по выполнению полетов и управлению воздушным движением в зонах струйных течений	300	11.10. Прогнозы погоды по аэродрому	377
10.3. Местные ветры	301	11.11. Прогнозы для посадки (Landing forecast)	378
10.4. Особенности метеорологических условий полетов в низких широтах	306	11.12. Прогнозы для взлета – FCST TAKE-OFF (forecast for take-off)	379
10.4.1. Пассаты	306	11.13. Прогностические карты (Prognosis charts)	380
10.4.2. Муссоны	307	11.14. Зональные прогнозы для полетов на малых высотах – GAMET (General aviation forecast)	388
10.4.3. Внутритропическая зона конвергенции	309	11.15. Таблица прогноза условий погоды по маршруту (низкий уровень)	392
10.4.4. Тропические циклоны	311	11.16. Содержание и последовательность информации SIGMET, AIRMET	395
10.5. Особенности метеорологических условий полетов в высоких широтах	315	11.17. Предупреждения по аэродрому	404
10.6. Особенности метеорологических условий полетов в горных районах, над пустынями и большими водными пространствами	316	11.18. Предупреждения о сдвиге ветра	405
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	318	11.19. Служба слежения за вулканической деятельностью на международных авиатрассах	406
Глава 11. Аэросиноптические материалы, метеорологическая информация и документы, используемые при метеорологическом обеспечении международной аэронавигации	322	11.20. Оперативная метеорологическая информация (Operational meteorological information)	407
11.1. Международный метеорологический код КН-01	323	Вопросы для самопроверки и контроля знаний	409
11.2. Международный авиационный метеорологический код METAR (SPECI)	323	Глава 12. Метеорологическое обеспечение полетов	415
		12.1. Основы организации работы и задачи оперативных метеорологических органов по обеспечению безопасности полетов	415
		12.2. Метеорологические наблюдения и сводки	420
		12.3. Радиолокационные наблюдения	424
		12.4. Наблюдения за ветром на высотах	424

	стр.		стр.
12.5. Информация, получаемая с помощью метеорологических искусственных спутников Земли (МИСЗ)	425	13.4. Изменения климата	468
12.6. Наблюдения и донесения с борта воздушных судов	425	13.5. Авиационно-климатические описания аэродромов и районов полетов	473
12.6.1. Регулярные наблюдения с борта воздушных судов (ARP)	426	Вопросы для самопроверки и контроля знаний	475
12.6.2. Специальные и другие нерегулярные наблюдения с борта воздушных судов (ARS)	427	Список используемых сокращений	477
12.6.3. Содержание донесений с борта воздушных судов	428	Список использованной литературы	485
12.6.4. Регистрация данных наблюдений с борта воздушных судов	431	Приложения (вкладыши):	
12.7. Метеорологическое обеспечение экипажей воздушных судов	437	1. Алгоритм образования облачности	
12.7.1. Общие положения	437	2. Характеристика облаков	
12.7.2. Метеообеспечение экипажей воздушных судов при подготовке к полету	438	3. Международный метеорологический код КН-01	
12.7.3. Метеорологическая консультация	439	4. Примеры нанесения условий погоды на приземных синоптических картах	
12.7.4. Полетная документация	440	5. Международные авиационные метеорологические коды METAR (SPECI) и TAF	
12.7.5. Метеорологическое обеспечение экипажей воздушных судов в полете	441	6. Примеры телеграмм в формате кодов METAR (SPECI) и TAF	
12.8. Метеорологическое обеспечение органов обслуживания воздушного движения	442	7. Наиболее часто встречающиеся английские слова и сокращения в информации SIGMET, AIRMET и в прогнозах GAMET	
12.8.1. Общие положения	442	8. Примеры телеграмм в формате кодов SIGMET, AIRMET	
12.8.2. Метеорологическая консультация дежурной смены обслуживания воздушного движения	443		
12.8.3. Метеорологическая информация, предоставляемая органам обслуживания воздушного движения	443		
12.9. Метеорологическое обеспечение органов поисково-спасательной службы	446		
12.10. Метеорологическое обеспечение органов службы аэронавигационной информации	447		
12.11. Средства рассылки метеорологических данных	448		
Вопросы для самопроверки и контроля знаний	452		
Глава 13. Авиационно-климатическая информация	456		
13.1. Основные климатообразующие процессы	456		
13.2. Классификации климатов	459		
13.3. Климат Украины	465		

ВВЕДЕНИЕ

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Условия полетов летательных аппаратов (ЛА) зависят от многих факторов, среди которых одним из решающих является погода. Погода для авиации была, есть и будет очень сложной проблемой, которая затрудняет или исключает выполнение полетов.

По данным Международной организации гражданской авиации (ICAO) причины авиационных происшествий (АП) распределяются следующим образом:

1. Ошибки экипажа, диспетчеров обслуживания воздушного движения (ОВД) – 70...80%;
2. Полеты в сложных метеорологических условиях – 15...20%;
3. Отказы техники – 5%.

Если говорить об авиации общего назначения, то, примерно, 40% АП, сопровождаемых человеческими жертвами, обусловлены погодными условиями. Из общего количества АП, связанных с метеоусловиями, 62% обусловлены ухудшением видимости, 11% – грозовыми явлениями, 11% – сильной болтанкой, 7% – обледенением, 9% – другими причинами.

Анализ расследований АП показывает, что часть из них происходит по причине отсутствия или недостаточной метеорологической информации, из-за неправильной оценки метеорологических условий авиационными метеорологами, летным составом, работниками службы ОВД и другими, ответственными за организацию полетов должностными лицами. В других случаях необъективно оцениваются возможности человека и авиационной техники, в результате чего экипаж оказывается в критических условиях и не может справиться с техникой пилотирования.

Совершенствование метеорологического обслуживания авиации может оказать значительное влияние не только на безопасность полетов, но и на национальную экономику государств, так как воздушные перевозки людей и грузов могут быть одним из главных компонентов валового национального продукта.

Эффективное использование метеорологической информации, умение хорошо разбираться в условиях погоды, принимать грамотные решения при встрече с различными метеорологическими явлениями и условиями погоды требуют от летного состава и работников службы ОВД твердых знаний в области авиационной метеорологии.

Авиационная метеорология – это наука, изучающая влияние метеорологических величин и явлений на деятельность авиации, разрабатывающая теоретические основы и практические методы метеорологического обеспечения полетов. Это прикладная научная дисциплина, являющаяся самостоятельным разделом метеорологии.

Метеорология – это наука, изучающая атмосферу, ее строение, свойства и протекающие в ней физические процессы. Другими словами, **метеорология или физика атмосферы** – это наука о погоде.

Погода – это физическое состояние атмосферы в какой-либо момент или промежуток времени, которое характеризуется совокупностью метеорологических величин и явлений.

К числу **метеорологических величин** относятся: температура, атмосферное давление, влажность воздуха, облачность, ветер, видимость (прозрачность атмосферы), то есть такие величины, которые могут быть количественно выражены в тех или иных единицах.

К **метеорологическим явлениям** относятся: осадки, туманы, метели, грозы, шквалы, пыльные бури, смерчи, обледенение, болтанка и другие явления, которые не имеют точного количественного выражения.

Очень часто смешивают понятия **погода** и **климат**. Но между ними имеются большие различия.

Климат – это многолетний режим погоды, обусловленный солнечной радиацией, характером подстилающей поверхности и циркуляцией атмосферы.

Наука, изучающая климат, называется **климатологией**. Она подразделяется на общую и прикладную.

Общая климатология изучает климатообразующие процессы и географические факторы климата, устанавливает общие закономерности формирования климатов, выявляет изменения и колебания климата и устанавливает их причины.

Прикладная климатология изучает практические приложения климатологии к различным отраслям человеческой деятельности и включает в себя строительную климатологию, агроклиматологию, авиационную климатологию и другие.

Авиационная климатология изучает влияние климатических условий у земной поверхности и на высотах на авиационную технику и работу авиации, разрабатывает способы и формы обеспечения авиации климатическими данными.

При изучении курса авиационной метеорологии рассматриваются следующие вопросы:

- состав и строение атмосферы, методы и техника ее исследования (применительно к нуждам авиации);
- важнейшие метеорологические величины, влияющие на полеты воздушных судов, а также явления погоды, определяющие условия взлета, посадки и полета по маршруту;
- влияние основных метеорологических величин и явлений на эксплуатацию авиационной техники и летно-технические характеристики воздушных судов;
- элементы динамики атмосферы: закономерности движения воздуха на различных высотах и способы его учета; методы измерения основных параметров движения воздуха и удобные для метеообеспечения авиации способы представления данных о ветре;
- основы термодинамики атмосферы: процессы, приводящие к насыщению воздуха водяным паром, т.е. к образованию облаков, осадков и явлений, ухудшающих видимость;
- опасные для авиации явления погоды: грозы, обледенение, болтанка воздушных судов, сдвиги ветра в приземном слое, вулканический пепел и др.;
- синоптические процессы в атмосфере, особенности полетов при различных синоптических процессах;
- высотные и географические особенности метеорологических условий;
- авиационно-климатическая информация.

Значительное место в курсе авиационной метеорологии отводится на изучение аэросиноптических материалов, метеорологических кодов, информации и документации, используемых при метеорологическом обеспечении международной аэронавигации, а также организации метеорологического обеспечения полетов.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

Возникновение, становление и развитие авиационной метеорологии обуславливается практическими потребностями авиационного транспорта. Расцвет авиации сопровождался соответствующим развитием авиационной метеорологии. Условно развитие авиационной метеорологии можно разделить на четыре этапа.

I этап (1910...1940 гг.) характеризуется использованием результатов метеорологических наблюдений у земной поверхности, шаропилотных данных о ветре на высотах в ясную погоду; составлением приземных синоптических карт и значительными качественными изменениями в области разработки прогнозов погоды.

II этап (1941...1960 гг.) характеризуется интенсивным внедрением радиозондов и составлением по данным радиозондирования атмосферы карт барической топографии (БТ); широким использованием различных радиотехнических средств и методов радиометеорологии.

III этап (1961...1980 гг.) характеризуется применением ЭВМ для составления авиационных прогностических карт погоды; разработкой методов практического использования информации метеорологических искусственных спутников Земли (МИСЗ); широким распространением факсимильных передач метеорологических карт; внедрением проекта Всемирной службы погоды (ВСП), состоящей из глобальных систем наблюдения (ГСН), обработки данных (ГСОД) и телесвязи (ГСТ),

IV этап (начался в 80-х годах XX столетия и продолжается до настоящего времени) – осуществляется автоматизация и компьютеризация метеорологических наблюдений, сбора, обработки и анализа необходимой для авиации информации о погоде; разрабатываются численные методы составления авиационных прогнозов погоды; создается Всемирная система зональных прогнозов (ВСЗП), в состав которой входят Всемирные центры зональных прогнозов (ВЦЗП).

Метеорологическое обеспечение авиации в масштабах всего земного шара осуществляется на базе широкого международного сотрудничества в рамках Всемирной метеорологической организации (ВМО) – World meteorological organization (WMO) и Международной организации гражданской авиации (МОГА) – International civil aviation organization (ICAO), которые являются специализированными учреждениями организации Объединенных Наций (ООН). Эти организации работают на основе рабочих соглашений, в основу которых положен принцип разделения сфер деятельности и влияния в области авиационной метеорологии.

ICAO отвечает за разработку требований, которые должны обеспечить безопасную, экономичную, эффективную и регулярную работу гражданской авиации, а также за определение мест, формы и сроков предоставления услуг, соответствующих этим требованиям. В компетенцию WMO входит определение технических методов и средств, используемых для удовлетворения требований, сформированных ICAO. WMO несет ответственность за разработку всех метеорологических кодов, необходимых для передачи данных наблюдений, прогнозов и анализов, включая коды, предназначенные для метеорологического обслуживания воздушных сообщений.

Создание ВСЗП, передача данных ВСЗП по спутниковым каналам связи позволяет практически всем странам получить доступ к богатейшей метеорологической информации, основанной на глобальных модельных расчетах, и тем самым усовершенствовать прогностическую деятельность своих национальных метеорологических служб (НМС) и метеорологическое обслуживание авиации.

Очевидно, что основное внимание авиационные потребители уделяли, уделяют и будут уделять обеспечению безопасности, эффективности и экономичности полетов. Однако продолжающаяся интенсификация воздушного движения ставит перед авиационными метеорологическими службами и другие проблемы.

Прежде всего любое воздушное судно должно взлетать и садиться. Постоянное увеличение числа полетов делает работу аэропортов очень напряженной. Во всем мире рост городов и другие ограничения, связанные с окружающей средой, все больше и больше затрудняют строительство новых аэродромов и расширение пропускной способности существующих. Поэтому развитие авиации происходит главным образом за счет интенсификации работ уже имеющихся аэродромов, а не путем строительства новых. Это означает, что воздушные суда должны будут летать при любых погодных условиях, включая такие, при которых до сих пор аэродром закрывался. Внедрение усовершенствованных систем посадки по приборам, спутниковых навигационных систем и других нововведений будет способствовать более интенсивному использованию аэродромов. Даже в сложных условиях низкой облачности и плохой видимости аэродромы могут не закрываться. Просто увеличивается допустимый временной интервал между взлетами и посадками, что исключает опасное сближение воздушных судов. Отсюда следует, что повышаются требования к точности прогнозов погоды по аэродрому.

При некоторых других погодных условиях, например, при сильном ветре, сильном боковом ветре и грозах, садиться опасно даже при наличии самых совершенных навигационных систем. Для того чтобы авиакомпании могли правильно планировать полеты с учетом подобных явлений, опять-таки необходимы более точные прогнозы погоды.

Кроме этого ожидается, что пропускную способность аэродромов удастся повысить за счет применения доплеровских метеорологических радиолокаторов, обслуживающих зону аэродрома. Они позволяют получать информацию о сдвигах ветра в приземном слое и микровихрях с очень большим пространственным и времененным разрешением, что дает возможность обеспечить безопасную посадку самолетов в точно

определенные моменты времени и на правильно выбранных взлетно-посадочных полосах, а не закрывать весь аэродром на все время нахождения вблизи него потенциально опасной грозы.

Интенсификация воздушного движения повышает требования и к точности прогноза по трассе полета. Для того, чтобы безопасно осуществлять полеты по перегруженным трассам, необходимо иметь точную информацию о ветре и температуре вдоль маршрута, а также о таких опасных явлениях, как турбулентность, обледенение и грозы, зоны которых необходимо обходить. Авиакомпаниям и органам ОВД необходимо иметь точные прогнозы с большой заблаговременностью, так как это дает им возможность осуществлять стратегическое планирование эффективных и безопасных потоков движения, сокращая тем самым расход топлива и избегая опасностей.

Однако прогнозы погоды никогда не станут безупречными. К счастью, бурное развитие средств связи означает, что самые свежие метеорологические данные, детальные прогнозы погоды и информацию можно будет передавать непосредственно на борт воздушного судна. Кроме того, использование спутниковых навигационных систем и автоматического слежения за трансокеаническими рейсами позволит сокращать интервалы между воздушными судами, допускать большую гибкость при выборе трасс полета с целью оптимизации расхода топлива и даже разрешать изменения маршрута уже после взлета с учетом изменений прогнозов погоды вдоль трассы.

В связи со всем сказанным в настоящее время и в будущем резко повышается уровень требований к знаниям пилотов и диспетчеров ОВД в области авиационной метеорологии. Уже сейчас роль авиационных метеорологов в структуре авиакомпаний существенно изменяется. Профессиональные метеорологи имеются в штатах только самых крупных авиакомпаний. Остальные авиакомпании полагаются на знания и опыт пилотов и диспетчеров ОВД, которые помогут им справиться с проблемами, имеющими отношение к авиационной метеорологии.

Автор считает своим долгом поблагодарить сотрудников кафедры авиационной метеорологии Государственной летной академии Украины и особенно Перцель Г.В. за ценные замечания и пожелания, способствовавшие улучшению рукописи, а также Флакей В.В. за набор и оформление книги.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Какая наука называется метеорологией?
2. Какая наука называется авиационной метеорологией?
3. Что называется погодой?
4. Что называется климатом?
5. Какая наука называется климатологией?
6. Какие вопросы рассматриваются при изучении курса авиационной метеорологии?
7. Чем обуславливается развитие авиационной метеорологии?
8. На какие этапы можно разделить развитие авиационной метеорологии?
9. Какие задачи по метеорологическому обеспечению гражданской авиации решает ICAO?
10. Какие задачи по метеорологическому обеспечению гражданской авиации решает WMO?

ГЛАВА 1. АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ И ЕЕ СТРОЕНИЕ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Атмосфера – это газовая оболочка Земли с содержащимися в ней аэрозольными частицами. Атмосфера движется вместе с Землей в мировом пространстве как единое целое и одновременно принимает участие во вращении Земли. На дне атмосферы протекает вся наша жизнь.

Название **атмосфера** происходит от греческих слов *атмос*, что означает пар, воздух, дыхание, и *сфайра* – слой, шар, оболочка. Масса атмосферы равна $5,157 \cdot 10^{15}$ т, т.е. примерно в миллион раз меньше массы твердой оболочки (литосферы) Земли.

Значение атмосферы для жизни и деятельности человека исключительно велико. Если бы на Земле не было атмосферы, то органическая жизнь была бы невозможной. Один из основных газов, входящих в состав атмосферного воздуха, – **кислород (O_2)** – необходим для дыхания всех живых организмов и процессов горения, а другой – **углекислый газ (CO_2)** – используется для питания растений, листья которых под действием солнечных лучей усваивают углерод и выделяют кислород. Основной газ атмосферы – **азот (N_2)** – входит в состав белков и азотистых соединений, с которыми неразрывно связаны происхождение и развитие жизни на Земле.

Атмосфера предохраняет нас от смертоносных космических лучей и от ультрафиолетового солнечного излучения, а также защищает земную поверхность от сильного нагревания днем и охлаждения ночью. При отсутствии атмосферы температура поверхности Земли днем достигала бы 100°C и более, а ночью резко понижалась бы до -100°C . Всюду царила бы полная тишина, так как звук не может распространяться в пустоте, день и ночь сменялись бы мгновенно, а небо было бы абсолютно черным. Свойство частиц атмосферного воздуха и находящихся в нем различных посторонних примесей “разбивать” солнечный свет на множество мелких лучей и рассеивать его во все стороны обуславливает голубой цвет неба, различную окраску зорь в утренние и вечерние часы, позволяет нам видеть не только предметы, освещенные прямыми солнечными лучами, но и предметы, освещенные рассеянным светом.

Атмосфера прозрачна, но она постоянно напоминает о себе: дождь, снег, гроза и метель, ураган и затишье, жара и мороз – все это проявления атмосферных процессов, протекающих под влиянием неравномерного распределения солнечной энергии при взаимодействии атмосферы с поверхностью Земли.

Особый интерес атмосфера представляет для авиации, так как она является той средой, в которой происходят полеты различных летательных аппаратов (ЛА) – ракет, самолетов, вертолетов, планеров. Состояние атмосферы определяет условия полетов и оказывает существенное влияние на летно-эксплуатационные характеристики ЛА. Поэтому, для обеспечения безопасности полетов в метеорологическом отношении, их экономичности и регулярности необходимо хорошо знать состав и строение атмосферы, особенности ее циркуляции у Земли и на высотах в различных географических районах в течение года, а также опасные метеорологические явления, возникающие при различных атмосферных процессах.

1.2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Информацию о физических характеристиках, составе и строении атмосферы получают с помощью прямых и косвенных методов исследования (табл. 1.1).

При **прямых методах** с помощью соответствующей аппаратуры непосредственно измеряются физические характеристики атмосферы у Земли и на различных высотах. К ним относятся наземные наблюдения на метеорологических станциях, на аэродромах, в обсерваториях, на высотных мачтах; зондирование атмосферы с помощью шаров-пилотов, радиозондов, аэростатов, самолетов, ракет, искусственных спутников Земли и космических кораблей.

При **косвенных методах** об исследуемой метеорологической величине судят по измерениям других метеорологических величин или явлений. Например, по результатам наблюдений за движением облаков определяют направление и скорость ветра на высоте. К косвенным относятся методы, основанные на наблюдениях за прожекторным лучом, аномальным распространением звука, движением следов метеоров, перламутровыми и

Таблица 1.1. Методы исследования атмосферы

Метод исследования	Высота измерения, км	Параметры атмосферы, полученные в результате исследований
<i>Прямые методы</i>		
Наземные наблюдения на метеорологических станциях	Приземный слой (до 1,0)	Температура, давление, влажность, видимость, облака, атмосферные явления
Наблюдения на высотных метеорологических мачтах (телеизионных башнях)	до 0,3...0,4	Температура, влажность, ветер
Зондирование атмосферы (шары-зонды, шары-пилоты аэростаты, стратостаты)	до 40	Температура, влажность, давление, ветер, облака (высота, толщина), состав атмосферы
Самолетное зондирование	до 30	Температура, влажность, давление, облака (НГО, ВГО, микроструктура), состав атмосферы, болтанка, обледенение
Радиозондирование (радиозонды, радиопилоты)	до 40	Температура, влажность, давление, ветер
Ракетное зондирование: - метеорологические ракеты - геофизические ракеты	до 120 до 1000	Температура, давление, плотность Состав атмосферы, плотность, излучение Солнца, параметры ионосферы
Искусственные спутники Земли и космические корабли	по всей толще атмосферы	Облачный покров, ветер, температура, плотность, состав атмосферы, параметры ионосферы и магнитного поля Земли, солнечное и космическое излучение
<i>Косвенные методы</i>		
Радиолокационные наблюдения (радиолокационные метеорологические станции)	до 20	Облака, очаги гроз, ливней и града
Ионосферные исследования (ионосферные станции)	до 400	Концентрация электронов, температура, высота отражения радиоволн
Спектральные исследования: - ультрафиолетовой радиации - излучения ночного неба - полярных сияний	20...70 60...70 80...120	Озон, состав атмосферы, температура Состав атмосферы, температура Состав атмосферы, температура
Следы метеоров	40...150	Температура, плотность, давление
Перламутровые облака	20...30	Ветер, влажность
Серебристые облака	80...90	Ветер
Аномальное распространение звука	40...60	Температура, плотность, давление, ветер
Теоретические исследования	по всей толще атмосферы	Состав атмосферы, температура и электрические свойства атмосферы

серебристыми облаками, а также методы, базирующиеся на спектральных исследованиях ультрафиолетовой радиации, излучения ночного неба, полярных сияний и др.

В последние десятилетия основное внимание уделяется развитию прямых методов исследования атмосферы.

1.3. СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Атмосферный воздух – это механическая смесь газов, в которой во взвешенном состоянии находятся жидкие и твердые частицы, называемые аэрозолями. У земной поверхности атмосферный воздух, как правило, влажный. Это значит, что в его состав вместе с другими газами входит водяной пар, т.е. газообразная фаза воды H_2O .

Газы, входящие в состав воздуха в нижних слоях атмосферы, делят на две группы – **постоянные и переменные составляющие**.

В группу **постоянных составляющих** входят: азот (N_2), кислород (O_2), водород (H_2) и инертные газы – аргон (Ar), гелий (He), неон (Ne), криpton (Kr), ксенон (Xe), радон (Rn).

В группу **переменных составляющих** (атмосферные примеси) входят: водяной пар, озон (O_3), углекислый газ или диоксид углерода (CO_2), диоксиды азота (NO_2) и серы (SO_2), пыль, дым, капельки воды, кристаллы льда и морской соли, продуктыadioактивного распада, семена и пыльца растений, различные микроорганизмы и др.

Сухим воздухом называется такой воздух, в состав которого не входит водяной пар (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Состав сухого и чистого воздуха у земной поверхности

Газ	Содержание в % по объему	Газ	Содержание в % по объему
Кислород (O_2)	20,95	Гелий (He)	$5,24 \cdot 10^{-4}$
Азот (N_2)	78,09	Криpton (Kr)	$1,14 \cdot 10^{-4}$
Аргон (Ar)	0,93	Водород (H_2)	$5,0 \cdot 10^{-5}$
Углекислый газ (CO_2)	0,03	Ксенон (Xe)	$8,7 \cdot 10^{-6}$
Неон (Ne)	$1,8 \cdot 10^{-3}$	Озон (O_3)	$1,0 \cdot 10^{-8}$

Атмосферные примеси, несмотря на их незначительное количество, играют заметную роль в развитии атмосферных процессов. Частицы континентальной пыли, морской соли, индустриального дыма, благодаря малым размерам, длительное время находятся в воздухе и переносятся ветром на большие расстояния. Они ухудшают прозрачность атмосферы (дальность горизонтальной видимости), ослабляют солнечную радиацию, приходящую на земную поверхность. Кристаллы морской соли и частички органических веществ служат ядрами конденсации при образовании облаков и туманов. Такие атмосферные примеси, как водяной пар, углекислый газ и озон существенно изменяют температурный режим земной поверхности и атмосферы. Они интенсивно поглощают длинноволновую инфракрасную радиацию, излучаемую земной поверхностью и атмосферой, предохраняя Землю и атмосферу от ночного охлаждения.

Водяной пар непрерывно поступает в атмосферу путем *испарения* с водных поверхностей и влажной почвы, а также в результате *транспирации* растениями. Количество водяного пара колеблется от 4% по объему (при высоких температурах над морем и приморскими районами) до значений, близких к 0% (при очень низких температурах над сушей в глубине континента и на больших высотах). При насыщении воздуха водяным паром образуются облака, из которых могут выпадать осадки.

Углекислый газ поступает в атмосферу при вулканических извержениях, в результате гниения и разложения органических веществ, в процессе дыхания и горения. Расходуется в процессе усвоения его растениями. В среднем его содержание в атмосфере составляет 0,03%, но в промышленных районах его количество примерно в 2 раза больше, чем в приполярных. С высотой количество углекислого газа постепенно убывает. Углекислый газ поглощает длинноволновое излучение земной поверхности, что приводит к повышению температуры воздуха и возникновению *парникового эффекта*. За последние 70...80 лет количество углекислого газа в атмосфере, по оценкам многих ученых, увеличилось примерно на 10...12%. При этом расчеты показывают, что удвоение количества углекислого газа в атмосфере повысит среднюю планетарную температуру в результате парникового эффекта на 1,5...2,0°C.

Озон – трехатомный кислород – бесцветный газ с характерным запахом свежести. Он образуется на всех высотах в слое воздуха от Земли до 50...70 км. У поверхности земли озона очень мало. Максимальное содержание озона в полярных областях наблюдается на высотах 15...20 км, в тропических и субтропических широтах – 25...30 км. Количество озона в атмосфере сравнительно мало. Так, если привести к нормальному атмосферному давлению при температуре 0°C такие газы, как азот, кислород и озон, то толщина слоя азота составит 6200 м, кислорода – 1560 м, а озона в среднем – 0,3 см. Но, несмотря на столь малое количество озона в атмосфере, его роль в атмосферных и земных процессах весьма значительна по двум причинам. **Во-первых**, сильно поглощая ультрафиолетовую радиацию, энергия которой составляет 3% всей солнечной энергии, озон повышает температуру воздуха на высотах 30...35 км. Кроме этого, озон задерживает около 20% теплового излучения Земли. Все это приводит к формированию *стратосферной оболочки тепла*. **Во-вторых**, поглощая коротковолновую радиацию Солнца, озон защищает живые организмы на Земле от вредного и даже губительного действия ультрафиолетовой радиации. По современным взглядам, сама жизнь могла появиться на суше только после того, как содержание кислорода достигло 1% от современного и на некоторой высоте в атмосфере смог образоваться слой озона.

Количество озона изменяется по сезонам и широтам. Максимум озона приходится на весенние месяцы, а минимум – на осенние. При этом его годовая амплитуда наиболее значительна в высоких широтах. У экватора сезонное изменение озона сравнительно мало. Слабый максимум наблюдается в конце весны или в начале лета. В последнее время вопрос об изменении в атмосфере количества озона приобрел особую остроту в связи с выбросом в атмосферу различных химических веществ антропогенного происхождения, в особенности фреонов. Появились опасения, что выброс в стратосферу оксидов азота с выхлопными газами сверхзвуковых самолетов и проникновение фреонов могут привести к разрушению слоя озона. Это может иметь пагубные биологические последствия. В связи с этим приобрели большую актуальность расширение сети наблюдений за озоном и изучение многолетних изменений во временном ходе содержания озона. Исследования продолжаются и по их результатам можно будет ответить на поставленные вопросы.

1.4. СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

Данные прямых и косвенных исследований показывают, что атмосфера в вертикальном направлении делится на несколько слоев (сфер), отличающихся друг от друга своими характеристиками: составом воздуха, изменением температуры с высотой, электрическими свойствами, характером взаимодействия с земной поверхностью и др. (табл. 1.3 и рис. 1.1).

Нижней границей атмосферы является поверхность Земли. Резко выраженной верхней границы атмосферы не существует. Плотность ее газов постепенно уменьшается и на высоте примерно 20000 км приближается к плотности газов межпланетного пространства (100 частиц в 1 см³). Эта высота условно принята за верхнюю границу атмосферы.

Толщина всей атмосферы соизмерима с размерами Земли, однако большая часть массы атмосферы сосредоточена в тонком (по сравнению с радиусом Земли) слое, прилегающем к земной поверхности. Примерно 50% всей массы атмосферы заключается в слое от земной поверхности до высоты 5 км, 75% – до высоты 10 км, 90% – до 20 км, около 99% – до высоты 30...35 км.

Небольшая толщина основного (по массе) слоя атмосферы по сравнению с ее горизонтальной протяженностью приводит к тому, что вертикальные масштабы наблюдаемых в атмосфере явлений и процессов оказываются значительно меньше их горизонтальных размеров. Воздушные массы, циклоны, антициклоны, атмосферные фронты имеют горизонтальную протяженность в сотни и тысячи километров, а по вертикали распространяются лишь на несколько километров.

По составу воздуха атмосфера делится на *гомосферу* и *гетеросферу*.

Гомосфера – слой от земной поверхности до высоты 90...100 км. В гомосфере все газы находятся в молекулярном состоянии и их относительный процентный состав с высотой не изменяется.

Гетеросфера располагается выше 90...100 км. В этом слое газовый состав с высотой изменяется. В гетеросфере происходит диссоциация (распад) молекул кислорода (выше 100 км) и азота (выше 200 км) на атомы, и в воздухе появляется окись азота. На высоте около 1000 км в атмосферном воздухе преобладает гелий, а в самых верхних слоях – водород.

По признаку взаимодействия атмосферы с земной поверхностью атмосферу делят на *пограничный слой* (иногда называют также слоем трения) и *свободную атмосферу*.

В пограничном слое (высотой до 1,0...1,5 км) на характер движений воздуха большое влияние оказывает земная поверхность и силы турбулентного трения. Внутри пограничного слоя выделяется *приземный слой* атмосферы (высотой 50...100 м).

В свободной атмосфере (на высоте более 1,0...1,5 км) в первом приближении силами турбулентного трения можно пренебречь.

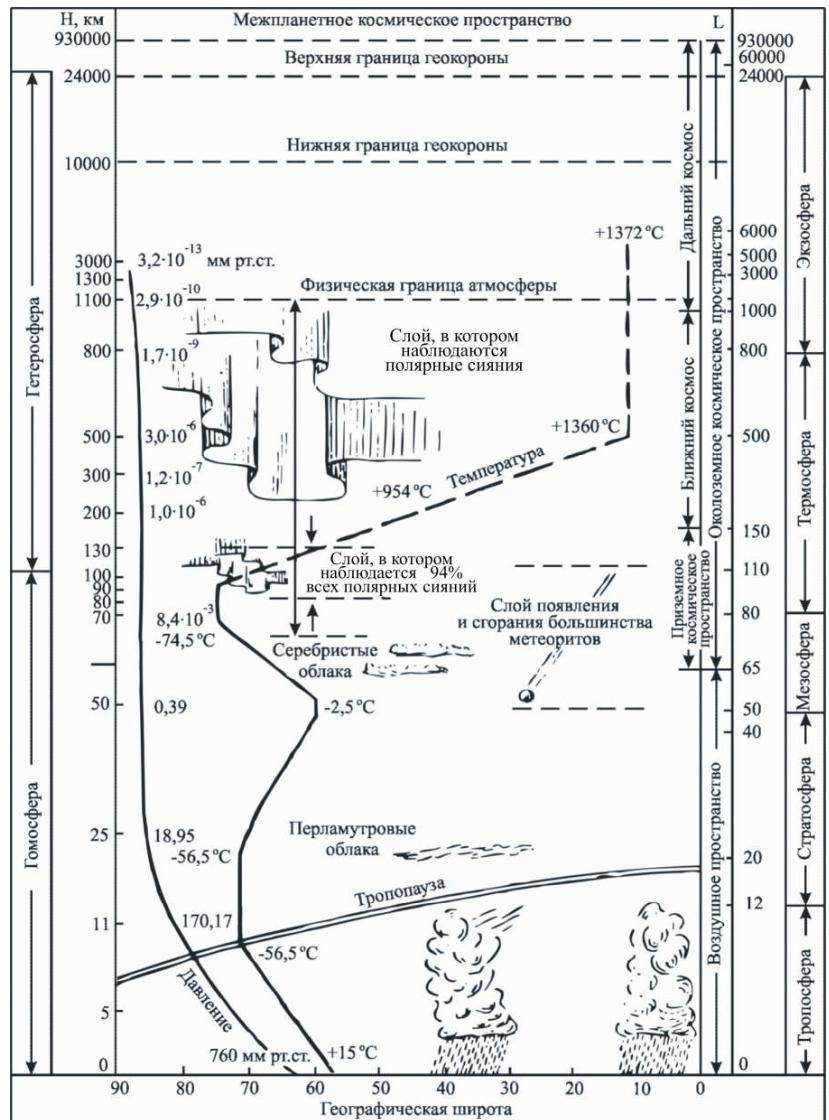
По характеру изменения температуры воздуха с высотой атмосфера делится на 5 основных и 4 промежуточных слоя (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Основные и промежуточные слои атмосферы

Основные слои	Средняя высота нижней и верхней границ, км	Характер изменения температуры с высотой	Промежуточные (переходные) слои
Тропосфера	0...11	понижается до 20...25 км температура не изменяется	Тропопауза
Стратосфера	11...50	и равна -56,5°C, а затем растет	Стратопауза
Мезосфера	50...80	понижается	Мезопауза
Термосфера	80...800	быстро растет	Термопауза
Экзосфера	Выше 800	медленно растет	

Все слои атмосферы не всегда имеют четкие границы, их высота изменяется в зависимости от широты места, времени года и синоптической обстановки. Так, например, высота тропопаузы колеблется от 8 до 18 км.

Тропосфера – это нижний слой атмосферы, простирающийся до высоты 8...10 км в полярных районах, 10...12 км в умеренных широтах и 16...18 км в тропиках. Основным источником тепла для воздуха тропосферы является земная поверхность, нагреваемая Солнцем, поэтому *характерной особенностью тропосферы является понижение температуры воздуха с высотой, которое в среднем составляет 0,65°C/100 м*.



1.1. Строение атмосферы

Тропосфера – наиболее плотный слой атмосферы, в ней сосредоточено около 4/5 всей массы атмосферного воздуха. Давление в тропосфере с высотой уменьшается очень быстро и на высоте 5 км составляет примерно половину того, которое наблюдается у земной поверхности.

Тропосфера является самой запыленной частью атмосферы, в ней находится почти весь водяной пар, при конденсации которого образуются облака и осадки. В тропосфере формируются различные воздушные массы, образуются атмосферные фронты, развиваются циклоны и антициклоны. По условиям погоды и полетов тропосфера делится на три слоя.

1. Нижний слой – от поверхности земли до высоты 2 км

В нижнем слое на условия погоды большое тепловое и механическое влияние оказывает подстилающая поверхность (пп); наблюдается значительная турбулентность и запыленность воздуха, имеет место хорошо выраженный суточный ход метеорологических величин. В этом слое образуются все виды туманов и облака нижнего яруса, располагается нижняя граница облаков вертикального развития, ветер с высотой усиливается и поворачивает вправо. Летом в умеренных широтах температура в нижнем слое положительная, зимой чаще всего отрицательная. Условия погоды в нижнем слое тропосферы оказывают влияние на взлет, посадку и визуальные полеты на малых высотах.

2. Средний слой – от 2 до 6 км

Влияние подстилающей поверхности проявляется слабее. Ухудшение погоды связано с атмосферными фронтами, развитием кучевообразных облаков и облаков среднего яруса. В умеренных широтах в теплое время года в этом слое обычно располагаются нулевая и минус десятая изотермы, поэтому облака имеют смешанную структуру, т.е. состоят из капель воды и ледяных кристаллов. При полете в облаках среднего слоя в это время года наблюдается интенсивное обледенение воздушных судов (ВС).

3. Верхний слой – от 6 км до тропопаузы

Возмущающее влияние подстилающей поверхности практически не сказывается. Этот слой характеризуется сильными ветрами, приобретающими иногда характер струйных течений (скорость 30 м/с и более), на периферии которых образуются зоны турбулентности, вызывающие болтанку самолетов. Температура

в верхнем слое в течение всего года отрицательная и наиболее низкая из всех слоев тропосферы. В этом слое образуются облака верхнего яруса и располагаются вершины кучево-дождевых облаков. При полете в кучево-дождевых облаках наблюдается сильное обледенение, сильная болтанка, гроза, град. Облака верхнего яруса имеют кристаллическое строение, поэтому при полете в них происходит электризация ВС.

Тропопауза – это переходный слой между тропосферой и стратосферой толщиной от нескольких сотен метров до 2...3 км.

В зависимости от характера изменения температуры воздуха с высотой, тропопауза может быть слоем, в котором температура с высотой:

- повышается (слой инверсии);
- не изменяется (слой изотермии);
- медленно понижается (на 0,1...0,2°C на 100 м).

Вследствие такого изменения температуры с высотой тропопауза является задерживающим слоем для процессов, происходящих в тропосфере. Под тропопаузой наблюдается скопление водяных капель, ледяных кристаллов и аэрозольных частиц. Она часто является верхней границей тропосферной облачности. Под тропопаузой ухудшается видимость, затрудняется пилотирование ВС вследствие значительных горизонтальных и вертикальных сдвигов ветра, вызывающих болтанку самолетов. Поэтому тропопауза оказывает существенное влияние на метеорологические условия полетов в верхней тропосфере и в нижней стратосфере. Амплитуда колебаний высоты тропопаузы может достигать нескольких километров. Наиболее низкое положение тропопауза занимает над глубокими холодными циклонами, а наиболее высокое – над хорошо развитыми теплыми антициклонами. Высота тропопаузы понижается от экватора к полюсам. В соответствии с этим изменяется и температура воздуха на уровне тропопаузы: в среднем от -80°C над экватором до -50°C над полюсами.

Стратосфера – это слой атмосферы от тропопаузы до высоты 50 км. На стратосферу приходится около 20% всей массы атмосферы. В этом слое до высоты 20...25 км температура не изменяется и равняется в среднем -56,5°C, а затем увеличивается примерно на 2...3°C на каждые 1000 м и на высоте 50 км достигает среднего значения -2,5°C (с возможными отклонениями ±20°C).

Повышение температуры в стратосфере объясняется поглощением солнечной ультрафиолетовой радиации озоном и инфракрасной солнечной радиации водяным паром. Вследствие незначительного содержания водяного пара облака в стратосфере, как правило, не образуются. В редких случаях в южных широтах в нижнюю стратосферу проникают из тропосферы верхушки кучево-дождевых облаков. Иногда в зимнее время года на высоте 20...30 км образуются облака с изменяющейся окраской, которые называются перламутровыми. Предполагают, что эти облака представляют собой скопление мельчайших капелек воды (диаметром менее 2,5 мкм) или кристалликов льда. Вероятнее всего, такие облака образуются при восходящих движениях воздуха в горных районах, где их чаще всего и наблюдают (Скандинавия, Финляндия, Аляска, Антарктида и др.). Видимость в стратосфере, как правило, хорошая. Однако и сюда могут поступать земная пыль и продукты вулканических извержений. Прозрачность атмосферы при сильных извержениях вулканов уменьшается на весьма продолжительное время. Вулканический пепел, находясь во взвешенном состоянии, может переноситься ветром на большие расстояния от места извержения, ухудшая видимость при полетах на больших высотах. Ветер в стратосфере также имеет свои особенности. Зимой в стратосфере преобладают западные ветры. Летом на высоте 15...20 км, наблюдается переход ветра от западного направления к восточному.

В стратосфере возможны резкие повышения температуры – так называемые внезапные стратосферные потепления. В Северном полушарии они наблюдаются в конце зимы и весной. Как правило, потепления сначала возникают на высоте 45...50 км, а затем распространяются вниз с ослабевающей интенсивностью. Продолжительность большинства потеплений на высоте 20...25 км составляет 7...12 суток, среднее повышение температуры составляет около 26°C. В течение зимы может наблюдаться одно или два значительных потепления. Причины стратосферных потеплений в достаточной степени еще не изучены. Одной из особенностей стратосферы является также наличие на высотах 15...22 км максимума интенсивности космических лучей, представляющих собой потоки высокоэнергетичных заряженных частиц, которые приходят в земную атмосферу из космического пространства и частично от Солнца.

Мезосфера – это слой атмосферы, который располагается на высотах 50...80 км. В этом слое содержится около 0,25% всей массы атмосферы. В мезосфере температура с высотой понижается. У верхней границы мезосфера наблюдается самая низкая в атмосфере температура. В среднем она равна -86,5°C, но иногда может понижаться до -120...-140°C. Такое быстрое падение температуры вызывает довольно сильные восходящие и нисходящие движения воздуха и повышенную турбулентность. Иногда у верхней границы мезосфера на высоте около 80 км наблюдаются серебристые облака, светящиеся серебристо-синеватым светом. Плотность воздуха в мезосфере мала: на нижней границе она в среднем в 1000, а на верхней – примерно в 100000 раз меньше, чем у поверхности Земли. Давление воздуха также очень мало (в среднем в пределах от 2,5 до 0,01 мм рт.ст.). В связи с незначительной плотностью, начиная с высоты 70...80 км, практически невозможно получить аэродинамическую подъемную силу для полета. Эти высоты принято считать началом космического пространства (нижним космосом). В мезосфере в зимнее время ветер имеет западное направление, а летом преобладают восточные ветры, достигающие 500...600 км/ч.

Термосфера – наиболее мощный по высоте слой атмосферы, простирающийся от 80 до 800 км. Здесь сосредоточена незначительная часть атмосферы – всего 0,005% всей ее массы. Термосфера имеет ряд особенностей, отличающих ее от всех вышерассмотренных слоев. В этом слое происходит диссоциация молекул кислорода и азота на атомы, а так как атомарный кислород и азот поглощают коротковолновую радиацию Солнца, несущую большую энергию, то в термосфере наблюдается быстрый рост температуры с высотой. Теоретические расчеты и данные результатов ракетного зондирования показывают, что температура в термосфере на ее верхней границе в среднем равна 1000...1300°C. При этом необходимо иметь в виду, что указанные высокие значения температуры не соответствуют нашему привычному представлению о тепле. В плотных слоях атмосферы молекулы газов атмосферного воздуха тесно соприкасаются и часто сталкиваются друг с другом. При поглощении большого количества лучистой энергии они приобретают и большую кинетическую энергию, которую передают попадающим в эту среду телам. В термосфере, где

плотность воздуха ничтожно мала, длина свободного пробега молекул большая, столкновения их друг с другом и любым телом случаются редко. Высокие температуры, наблюдающиеся здесь, свидетельствуют лишь о большой скорости движения молекул газа в очень разреженной среде. Поэтому любое тело, попадающее в такую среду, будет нагреваться не за счет движения молекул и атомов газа, а лишь вследствие непосредственного нагревания его солнечными лучами. Характерной особенностью термосферы является также и то, что в ней содержится большое количество электрически заряженных частиц – ионов. Процесс ионизации состоит в том, что под действием коротковолновой (ультрафиолетовой) части солнечного излучения от нейтральных молекул и атомов газов отделяются электроны. Остающиеся атомы или молекулы оказываются заряженными положительно и образуют положительные ионы. Освободившиеся электроны могут присоединяться к нейтральным атомам или молекулам и образовывать отрицательные ионы. Ионизированные слои атмосферы обладают высокой электропроводностью и оказывают значительное влияние на распространение радиоволн. По этому признаку термосферу называют также ионосферой. По современным данным, основанным на наблюдениях с помощью ракет и искусственных спутников Земли, концентрация электрически заряженных частиц в ионосфере непрерывно повышается с увеличением высоты, достигает максимума на уровне 3000 км, а затем медленно уменьшается.

В ионосфере наблюдаются полярные сияния, представляющие собой свечение разреженных слоев воздуха под действием ультрафиолетовых лучей и корпускулярного излучения Солнца. Под действием магнитного поля Земли корпускулы солнечного света отклоняются в сторону магнитных полюсов. Поэтому полярные сияния наблюдаются главным образом в высоких широтах. Максимальная повторяемость полярных сияний в Северном полушарии наблюдается на линии, пересекающей Новую Землю, северную оконечность Скандинавского полуострова, Южную Исландию, Гренландию, Аляску и северное побережье Сибири. Здесь полярные сияния наблюдаются примерно 100 раз в год. Отмечены случаи полярных сияний и в более южных широтах. Нижняя граница полярных сияний редко опускается ниже 100...110 км, верхняя граница их колеблется в пределах

от 400...600 до 1100...1200 км. Спектральный анализ полярных сияний позволяет получить представление о составе атмосферы и о температурном режиме этих слоев. В периоды полярных сияний радиосвязь нарушается вплоть до ее полного исчезновения в широком диапазоне частот.

Сведения о ветровом режиме термосферы незначительны. Данные радиофизических наблюдений указывают на то, что в этом слое имеются воздушные течения различных направлений и скоростей (до 100...200 м/с). Но так как плотность воздуха в термосфере ничтожна, то и энергия потоков воздуха исключительно мала.

Экзосфера – внешняя часть земной атмосферы, расположенная выше 800 км над земной поверхностью. Экзосферу обычно называют слоем рассеяния. Здесь содержится ничтожная масса атмосферы, всего $10^{-8}\%$. В экзосфере частицы газов благодаря высокой температуре ($1000\ldots2000^{\circ}\text{C}$ и более) могут приобретать такие большие скорости движения (больше второй космической скорости – 11,2 км/с), что преодолевают земное притяжение и улетают в космическое пространство. Из космического пространства в земную атмосферу могут возвращаться частицы, скорость которых стала меньше второй космической скорости. В экзосфере происходит непрерывный обмен веществом между земной атмосферой и космическим пространством. Процесс этот в целом равновесный: сколько частиц уходит из атмосферы, столько же и поступает в нее. На высоте примерно 20000 км концентрация частиц ничтожно мала (около 100 частиц в 1cm^3), что соответствует ее значению уже в межпланетном пространстве, т.е. за пределами земной атмосферы.

7. На какие слои делится атмосфера в зависимости от взаимодействия с земной поверхностью?
8. На какие слои делится атмосфера в зависимости от изменения температуры воздуха с высотой?
9. Как изменяется температура воздуха с высотой в тропосфере и почему?
10. Какое влияние на процессы, протекающие в верхней тропосфере, оказывает тропопауза?
11. На какие слои по условиям погоды и полетов делится тропосфера?
12. Как изменяется температура воздуха с высотой в стратосфере и почему?
13. На каких высотах наблюдаются перламутровые и серебристые облака?

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Что называется атмосферой?
2. С помощью каких методов и средств осуществляется исследование атмосферы?
3. Какие газы входят в состав атмосферного воздуха?
4. Какое влияние на условия погоды оказывают водяной пар, углекислый газ, озон?
5. Как распределяется масса атмосферы по вертикали?
6. На какие слои делится атмосфера по составу воздуха?

ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРЫ

2.1. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА

2.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА И МЕТОДАХ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Температура воздуха характеризует тепловое состояние атмосферы и является мерой средней кинетической энергии движения молекул и атомов, составляющих атмосферный воздух. Для разных слоев атмосферы понятие температуры имеет неодинаковый смысл.

На высотах до 90...100 км (в гомосфере), частота столкновения молекул обеспечивает перераспределение и выравнивание кинетической энергии между молекулами. В результате сохраняется равновесное состояние, при котором все направления движения молекул равноправны. Температура, характеризующая равновесное состояние, называется **кинетической** (T)

$$T = \frac{1}{3} \frac{m v^2}{k}, \quad (2.1)$$

где: m – масса;

v^2 – средняя квадратичная скорость движения молекул;

k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К).

На высотах более 90...100 км (в гетеросфере) плотность воздуха становится настолько малой, что частота столкновения молекул не обеспечивает перераспределение и выравнивание их энергий. Поэтому вводится понятие **молярной** температуры (T_μ)

$$T_\mu = \frac{\mu_0}{\mu} T, \quad (2.2)$$

где: μ_0 – молярный вес воздуха на уровне моря;

μ – молярный вес воздуха на любой высоте.

В гомосфере $\mu_0 = \mu = \text{const}$ и $T = T_\mu$.

В гетеросфере $\mu < \mu_0$ и $T_\mu > T$, т.е. кинетическая температура не соответствует молярной.

Температура воздуха не является непосредственно измеряемой величиной. Ее значение определяется по изменению какого-либо, удобного для измерения, свойства термометрического вещества. Она измеряется термометрами со шкалами, в которых в качестве реперных (начальных) точек используются температуры таяния льда и кипения воды. Для количественной характеристики температуры воздуха приняты следующие шкалы (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Шкалы для измерения температуры воздуха

Название шкалы	Точка таяния льда	Точка кипения воды	Число градусов на шкале
Цельсия ($^\circ\text{C}$)	0	100	100
Фаренгейта ($^\circ\text{F}$)	32	212	180
Кельвина (K)	273	373	100

В большинстве стран мира используется шкала Цельсия. В США, Англии и некоторых других странах пользуются шкалой Фаренгейта. Переход от шкалы Цельсия к шкале Фаренгейта и наоборот проводится по формулам (2.3 и 2.4) или по таблицам (табл. 2.2), рассчитанным по ним:

$$t^\circ\text{C} = \frac{5}{9}(t^\circ\text{F} - 32) \quad (2.3)$$

$$t^\circ\text{F} = \frac{9}{5}t^\circ\text{C} + 32 \quad (2.4)$$

При теоретических расчетах обычно используется абсолютная шкала Кельвина, в которой $273,15K$ соответствует 0°C , $373K - 100^\circ\text{C}$. Нуль абсолютной шкалы $TK = 0^\circ$ соответствует $t = -273^\circ\text{C}$ и называется **абсолютным нулем** температуры. Переход от шкалы Кельвина к шкале Цельсия и наоборот проводится по формулам (2.5 и 2.6).

Таблица 2.2. Таблица перевода градусов Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) в градусы Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$)

$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$								
-22	-30	+05	-15	+32	00	+59	+15	+86	+30
-21	-29	+06	-14	+33	+01	+60	+16	+87	+31
-20	-29	+07	-14	+34	+01	+61	+16	+88	+31
-19	-28	+08	-13	+35	+02	+62	+17	+89	+32
-18	-28	+09	-13	+36	+02	+63	+17	+90	+32
-17	-27	+10	-12	+37	+03	+64	+18	+91	+33
-16	-27	+11	-12	+38	+03	+65	+18	+92	+33
-15	-26	+12	-11	+39	+04	+66	+19	+93	+34
-14	-26	+13	-11	+40	+04	+67	+19	+94	+34
-13	-25	+14	-10	+41	+05	+68	+20	+95	+35
-12	-24	+15	-09	+42	+06	+69	+21	+96	+36
-11	-24	+16	-09	+43	+06	+70	+21	+97	+36
-10	-23	+17	-08	+44	+07	+71	+22	+98	+37
-09	-23	+18	-08	+45	+07	+72	+22	+99	+37
-08	-22	+19	-07	+46	+08	+73	+23	+100	+38
-07	-22	+20	-07	+47	+08	+74	+23	+101	+38
-06	-21	+21	-06	+48	+09	+75	+24	+102	+39
-05	-21	+22	-06	+49	+09	+76	+24	+103	+39
-04	-20	+23	-05	+50	+10	+77	+25	+104	+40
-03	-19	+24	-04	+51	+11	+78	+26	+105	+41
-02	-19	+25	-04	+52	+11	+79	+26	+106	+41
-01	-18	+26	-03	+53	+12	+80	+27	+107	+42
00	-18	+27	-03	+54	+12	+81	+27	+108	+42
+01	-17	+28	-02	+55	+13	+82	+28	+109	+43
+02	-17	+29	-02	+56	+13	+83	+28	+110	+43
+03	-16	+30	-01	+57	+14	+84	+29	+111	+44
+04	-16	+31	-01	+58	+14	+85	+29	+112	+44

$$TK = t^{\circ}\text{C} + 273, \quad (2.5)$$

$$t^{\circ}\text{C} = TK - 273. \quad (2.6)$$

На метеорологических станциях температура воздуха измеряется термометрами, установленными в психрометрических будках на высоте 2 м над подстилающей поверхностью. Точность изменения $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. При этом определяется температура воздуха в момент наблюдения, а также минимальная и максимальная температура за определенный промежуток времени. На картах погоды указывается температура воздуха в момент наблюдения в градусах Цельсия, с точностью до десятых долей. Относительно кружка станции температура наносится следующим образом:



2.1.2. ИСТОЧНИКИ И ПРОЦЕССЫ НАГРЕВАНИЯ ВОЗДУХА

Распределение температуры в атмосфере и его непрерывные изменения называют **тепловым режимом атмосферы**. Он обуславливается теплообменом между атмосферным воздухом и окружающей средой, под которой понимают космическое пространство, соседние массы или слои воздуха и земную поверхность.

Источниками тепла для земной поверхности является лучистая энергия Солнца, звезд, Луны и внутреннее тепло самой Земли.

Лучистая энергия Солнца, называемая солнечной радиацией, громадна, но на Землю попадает менее двухмиллиардной ее доли.

Энергия звезд, Луны и планет, достигающая Земли, настолько мала, что практически никакого влияния на тепловое состояние атмосферы не оказывает.

Внутреннее тепло Земли, поступающее на ее поверхность, также ничтожно мало и в состоянии повысить ее температуру всего лишь на $0,1^{\circ}\text{C}$.

Примерно 99,9% солнечной радиации является коротковолновой. Атмосферой она поглощается незначительно – примерно 14%. Около 42% этой радиации отражается атмосферой обратно в межпланетное пространство, а 44% поглощается земной поверхностью, которая нагревается и, в свою очередь, отдает тепло прилегающим слоям воздуха, но уже в виде длинноволновой тепловой радиации.

Таким образом, нагревание атмосферного воздуха происходит, в основном, за счет теплообмена с земной поверхностью. Основными процессами, которые приводят к передаче тепла от земной поверхности к окружающему воздуху являются: **термическая конвекция, турбулентность, излучение (радиация), теплопроводность, испарение влаги и конденсация (сублимация) водяного пара.**

Термическая конвекция – это вертикально направленные восходящие и нисходящие потоки воздуха, возникающие за счет неравномерного нагревания подстилающей поверхности. Наиболее сильное развитие конвекции наблюдается летом в послеполуденные часы, т.е. в период максимального притока солнечной радиации. Она может распространяться до тропопаузы и осуществлять теплообмен по всей толще тропосферного воздуха.

Турбулентность – это беспорядочные восходящие и нисходящие вихри (от латинского *turbo* – завихрение, водоворот), возникающие в движущемся потоке воздуха за счет его трения о земную поверхность и внутреннего трения частиц. Турбулентность способствует перемешиванию воздуха, а следовательно, и обмену теплом между нижними нагретыми и верхними холодными слоями воздуха в слое трения, т.е. до высоты 1,0...1,5 км.

Излучение (радиация) представляет собой отдачу тепла земной поверхностью в виде лучистой энергии. Длинноволновое излучение Земли почти полностью поглощается водяным паром, углекислым газом и озоном, содержащимися в атмосферном воздухе. Вначале от земной поверхности нагревается самый нижний слой воздуха, длинноволновое излучение которого, в свою очередь, нагревает более холодный воздух вышележащего слоя и т.д. При отсутствии облаков излучение Земли распространяется до озонового слоя (25...28 км). Летом ночью, а зимой в течение всех суток Земля сильно выхолаживается и становится источником холода.

Теплопроводность – обмен теплом происходит при непосредственном соприкосновении земной поверхности и воздуха, когда тепловая энергия передается от одной молекулы к другой. Так как воздух плохой проводник тепла, то теплообмен путем теплопроводности происходит в очень тонком слое воздуха толщиной до 1 м.

Испарение воды сопровождается переходом теплоты испарения в скрытое состояние и температура воздуха понижается, а при **конденсации (сублимации)** водяного пара происходит выделение скрытой теплоты и температура воздуха повышается.

Изменение температуры происходит также за счет **адвекции**, т.е. горизонтального переноса в данное место новых воздушных масс из других районов земного шара. Если приходит воздух с более высокой температурой, говорят об **адвекции тепла**, а если с более низкой – об **адвекции холода**.

В результате совместного воздействия всех перечисленных факторов температура воздуха непрерывно изменяется как во времени, так и в пространстве. При этом изменения бывают **периодическими и непериодическими**.

Периодические изменения температуры – это суточные и годовые изменения, обусловленные суточным и годовым изменением притока солнечного тепла.

Непериодические изменения температуры – это изменения, обусловленные атмосферной циркуляцией, прохождением циклонов, антициклонов и атмосферных фронтов, приводящих к смене воздушных масс.

Изменения температуры воздуха в течение суток называются **суточным ходом температуры воздуха**. Минимум в суточном ходе температуры воздуха у земной поверхности наступает незадолго до восхода Солнца, а максимум – в 14...15 часов местного времени. Суточный ход правильно проявляется только в условиях устойчивой ясной погоды и при осреднении результатов наблюдений за многолетний период.

Суточная амплитуда температуры воздуха – разность между максимальным и минимальным значениями в течение суток – зависит от:

- **облачности:** в ясную погоду она значительно больше, чем в пасмурную;
- **широты места:** с увеличением широты она убывает;
- **времени хода:** зимой она меньше, чем летом;
- **характера подстилающей поверхности:** над водной поверхностью и растительным покровом она меньше, чем в пустынях;
- **рельефа местности:** на выпуклых формах (на вершинах и на склонах гор и холмов) она меньше, чем на равнинной местности, а на вогнутых (в долинах, оврагах и лощинах) – больше.

Суточные колебания температуры воздуха наблюдаются в слое от земной поверхности до высоты 1,0...1,5 км, что обуславливается непрерывным турбулентным перемешиванием, происходящим в нижнем слое тропосферы.

Изменения температуры воздуха в течение года называются **годовым ходом температуры воздуха**. Он оценивается по средним многолетним среднемесечным температурам воздуха. В течение года над континентом максимум температуры наблюдается в июле, минимум – в январе. Над океаном максимум наблюдается в августе, минимум – в феврале или начале марта. От экватора к полюсам температура воздуха уменьшается в среднем на 0,5...0,6°C на каждый градус широты.

Годовой ход температуры воздуха зависит от широты места, удаленности от моря и высоты места над уровнем моря. С увеличением широты годовая амплитуда температуры воздуха увеличивается, достигая максимальных значений в полярных широтах. С высотой годовая амплитуда уменьшается. Близость к морю уменьшает амплитуду годового хода, а удаление от моря – увеличивает.

Поляса холода Северного полушария находятся на севере Якутии в районе Верхоянска (-68°C) и Оймякона (-71°C), а также в Гренландии (-70°C). Самые низкие температуры на всем земном шаре наблюдаются в Антарктиде на станции Восток с абсолютным минимумом -89,3°C.

Самые высокие температуры на земном шаре с абсолютным максимумом +58°C наблюдаются в Северной Африке южнее города Триполи и +57°C – в Долине Смерти в Калифорнии. Абсолютные максимумы температуры в Туркмении (Термез) доходят до +50°C. На территории Украины самая высокая

температура (33...39°C) отмечается в июне...августе, абсолютный максимум (39...41°C) приходится на июль...август. В Кировограде средняя годовая температура воздуха составляет +8,0°C, абсолютный максимум температуры – +38,7°C, абсолютный минимум – -35,3°C.

2.1.3. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА С ВЫСОТОЙ

В связи с тем, что основным источником тепла для атмосферного воздуха является земная поверхность, в тропосфере температура воздуха с высотой, как правило, понижается. Для характеристики изменения температуры воздуха с высотой вводится понятие **вертикального температурного градиента** (γ) – величины изменения температуры на каждые 100 м высоты.

Для определения средней величины γ необходимо разность температур у земли (t_0) и на высоте (t_H) разделить на число сотен метров высоты (H):

$$\gamma = \frac{(t_0 - t_H)100}{H} \quad (2.7)$$

γ – величина непостоянная и зависит от типа воздушной массы, времени суток и года, характера подстилающей поверхности и других факторов.

В теплое время года $\gamma = 0,8...1,8^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$, в холодное – $\gamma = 0,2...0,4^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$. В стандартной атмосфере (СА) $\gamma = 0,65^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$.

Вертикальный температурный градиент характеризует температурное строение атмосферы, т.е. ее температурную стратификацию. При понижении температуры воздуха с высотой $\gamma > 0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$. Если температура с высотой не изменяется, то $\gamma = 0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$, и такой слой воздуха называется **слоем изотермии**. Если температура с высотой повышается, то $\gamma < 0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$, и такой слой воздуха называется **слоем инверсии**.

При помощи γ можно определить:

- температуру воздуха на любой высоте

$$t_h = t_0 - \gamma \frac{H}{100}; \quad (2.8)$$

- высоту нулевой изотермы ($H_{0^\circ\text{C}}$)

$$H_{0^\circ\text{C}} = \frac{t_0 100}{\gamma}; \quad (2.9)$$

- высоту минус десятой изотермы ($H_{-10^\circ\text{C}}$)

$$H_{-10^\circ\text{C}} = \frac{(t_0 + 10)100}{\gamma}; \quad (2.10)$$

- высоту, на которой наблюдается любая заданная температура (t_h)

$$H_{t_h} = \frac{(t_0 - t_h)100}{\gamma}. \quad (2.11)$$

Наглядное представление о распределении температуры воздуха по высотам над каким-либо пунктом можно получить с помощью *графика температурной стратификации*. На графике по горизонтальной оси откладывается температура (от меньшего значения к большему – слева направо), по вертикальной оси – высота или давление воздуха, соответствующее данной высоте. По данным радиозондирования атмосферы на график наносят значения температуры на различных высотах, полученные точки соединяют между собой. Полученная кривая распределения температуры воздуха с высотой называется *кривой стратификации* (рис. 2.1). Наклон кривой стратификации влево соответствует нормальному распределению температуры воздуха с высотой, т.е. температура с высотой понижается ($\gamma > 0^\circ\text{C}/100 \text{ м}$). Наклон кривой стратификации вправо соответствует инверсии, т.е. температура с высотой повышается ($\gamma < 0^\circ\text{C}/100 \text{ м}$). Если кривая стратификации идет вертикально вверх, то наблюдается изотермия и температура с высотой не изменяется ($\gamma = 0^\circ\text{C}/100 \text{ м}$).

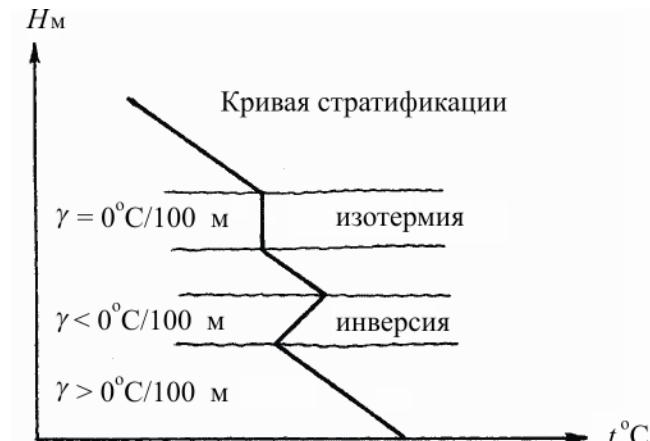


Рис. 2.1. График температурной стратификации

Для наглядного представления о распределении температуры на какой-либо площади или вдоль вертикального разреза атмосферы по маршруту проводятся линии одинаковых температур, которые называются *изотермами*.

2.1.4. СЛОИ ИНВЕРСИИ (ИЗОТЕРМИИ), ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ УСЛОВИЙ ПОГОДЫ И ВЛИЯНИЕ НА ПОЛЕТЫ

Большое значение для развития атмосферных процессов имеют слои инверсии и изотермии. В тропосфере эти слои могут наблюдаться у земной поверхности и на различных высотах во все сезоны года. Мощным слоем инверсии, как правило, является тропопауза.

В зависимости от причин образования инверсии бывают: *радиационные, адvectionные, сжатия или оседания и фронтальные*.

Радиационные инверсии (рис. 2.2) образуются вследствие радиационного выхолаживания подстилающей поверхности и охлаждения от нее приземного слоя воздуха в ясную, тихую погоду в теплое время года ночью и на протяжении суток – в холодное время года.

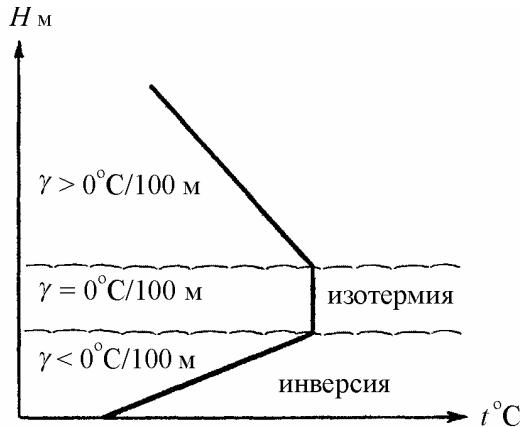


Рис. 2.2. Радиационная инверсия

Инверсия начинается от земной поверхности. Ее толщина колеблется от нескольких десятков метров летом до нескольких сотен метров зимой. Летом после восхода Солнца из-за прогрева подстилающей поверхности радиационные инверсии быстро разрушаются, а зимой могут сохраняться в течение нескольких суток и даже недель.

Адвектические инверсии (рис. 2.3) образуются при перемещении теплого воздуха по холодной подстилающей поверхности.

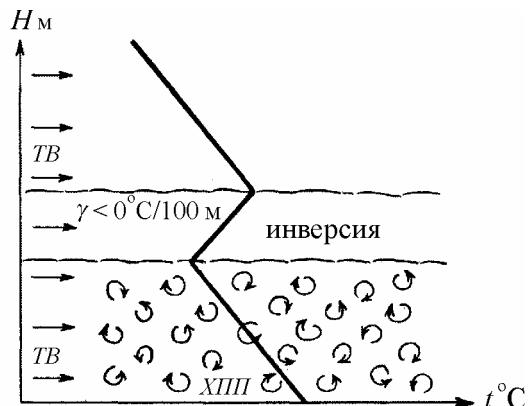


Рис. 2.3. Адвектическая инверсия

Нижние слои воздуха охлаждаются за счет соприкосновения с холодной подстилающей поверхностью. За счет турбулентного перемешивания и адиабатического понижения температуры в поднимающемся воздухе это охлаждение передается в более высокие слои. Поэтому в слое трения температура с высотой понижается. Выше слоя трения, где турбулентность резко убывает, наблюдается рост температуры с высотой, т.е. образуется слой инверсии. Адвектические инверсии образуются на высоте 1,0...1,5 км, их вертикальная мощность достигает нескольких десятков метров. Как правило, они образуются в холодное время года.

Инверсии сжатия или оседания (рис. 2.4) образуются над областями высокого давления в результате расходимости потоков воздуха у земной поверхности от центра высокого давления в стороны. При этом вышележащие слои оседают вниз и адиабатически нагреваются за счет сжатия.

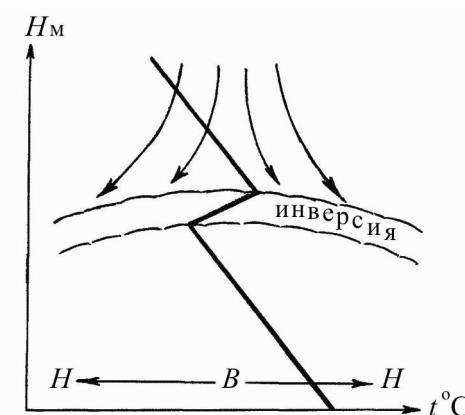


Рис. 2.4. Инверсии сжатия или оседания

Осидающий нагретый воздух не распространяется до самой земной поверхности (этому мешает замедленное движение приземных слоев воздуха вследствие трения их о земную поверхность), а растекается на некоторой высоте, образуя слой с повышенной температурой, т.е. слой инверсии. Инверсии сжатия имеют большую горизонтальную протяженность. Чаще всего они образуются на высоте 1,0...3,0 км и их вертикальная

мощность составляет несколько сотен метров. В слое такой инверсии наблюдается небольшая относительная влажность (20...30%). Перепад температур у земли и на верхней границе слоя инверсии может достигать нескольких десятков градусов.

Фронтальные инверсии образуются на фронтальных разделах, являющихся переходными слоями между холодными и теплыми массами воздуха. На этих разделах холодный воздух всегда располагается внизу в виде острого клина, а теплый воздух – выше холодного. Переходный слой между теплым и холодным воздухом называется **фронтальной зоной** или **поверхностью** и представляет собой слой инверсии толщиной в несколько сотен метров.

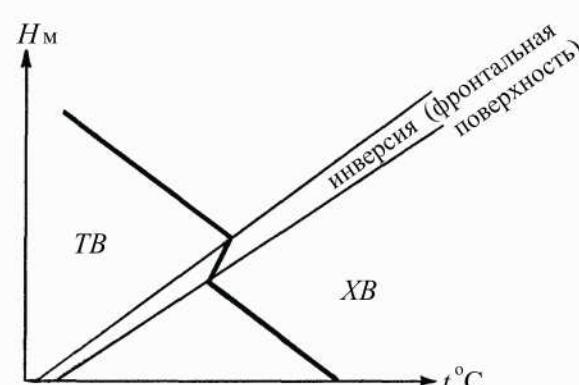


Рис. 2.5. Фронтальная инверсия

В слое фронтальной инверсии наблюдается высокая относительная влажность (близкая к 100 %). Высота нижней границы инверсии над данным пунктом зависит от расстояния между этим пунктом и линией фронта на земной поверхности.

Слои инверсии и изотермии являются задерживающими слоями и с ними связаны условия погоды, затрудняющие полеты:

- под слоями инверсии задерживаются восходящие движения воздуха, в результате чего происходит скопление водяных паров и различных твердых частиц, ухудшающих видимость; образуются туманы и волнистообразные облака;

- со слоями инверсии связаны резкие изменения направления и скорости ветра над и под ними, что может привести к возникновению опасных сдвигов ветра в приземных слоях;
- на слоях инверсии иногда образуются волны, способствующие возникновению очагов турбулентности, вызывающие болтанку воздушных судов.

2.2. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

2.2.1. ПОНЯТИЕ О ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА И МЕТОДАХ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В природе происходит непрерывный кругооборот воды: испарение – конденсация – сток – испарение. Вода в воздухе может находиться в трех фазовых состояниях – газообразном, жидким и твердом и переходить из одного состояния в другое путем испарения, конденсации, сублимации, замерзания (кристаллизации) и таяния (рис. 2.6).

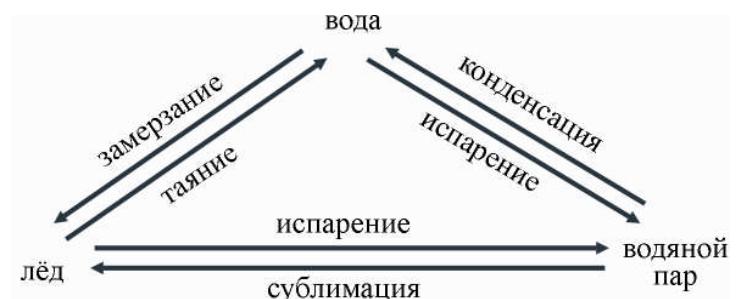


Рис. 2.6. Фазовые переходы воды

Испарение – это поступление водяного пара в атмосферу вследствие отрыва наиболее быстров движущихся молекул с поверхности воды, снега, льда, влажной почвы, капелек и кристаллов в атмосфере.

Конденсация – это переход воды из газообразного в жидкое состояние.

Сублимация – это переход водяного пара в твердое состояние.

Замерзание – это переход воды из жидкого в твердое состояние.

Таяние – это переход воды из твердого состояния в жидкое.

Фазовые переходы воды сопровождаются поглощением (испарение) или выделением (конденсация и сублимация) тепла. На испарение 1 г воды при температуре 0°C затрачивается 597 кал, а на испарение 1 г льда – 677 кал ($597 + 80$ кал, где 80 кал – теплота плавления льда). При конденсации выделяется тепло, равное теплоте испарения, т.е. 597 кал, а при сублимации – 677 кал. Следовательно, если в некотором объеме воздуха наблюдается испарение капель воды или кристаллов льда, то температура этого объема воздуха понижается, а если происходит конденсация или сублимация водяного пара, то температура повышается.

Содержание водяного пара в воздухе, выраженное в абсолютных или относительных единицах, называется **влажностью воздуха**. Чем выше температура испаряющей поверхности, суще воздух и сильнее ветер, тем больше количество испаряющейся воды. Испарение обычно происходит до тех пор, пока над испаряющей поверхностью количество водяного пара не достигнет насыщения, т.е. максимального количества, возможного в данном объеме при данной температуре.

Вследствие перемешивания и переноса воздушными потоками водяной пар распространяется по всей тропосфере и проникает даже в стратосферу, являясь очень важной составной частью атмосферы, так как с его наличием связаны такие явления погоды как: облака, осадки, туманы и др.

Измерение влажности воздуха производится при помощи **психрометров и гигрометров**.

Психрометрический метод измерения влажности основан на принципе измерения температуры термометрами с сухим и смоченным резервуарами (сухим и смоченным). Испарение воды с поверхности смоченного термометра понижает его температуру по сравнению с температурой сухого термометра. По разности температур сухого и смоченного термометров вычисляют упругость водяного пара и относительную влажность (по специальным психрометрическим таблицам).

Принцип действия **гигрометров** (волосных и пленочных) основан на свойстве обезжиренного волоса или органической пленки изменять свою длину при изменении относительной влажности. Принцип волосного гигрометра используется в самопишущих приборах, которые называются **гигрографами**.

2.2.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Для количественной характеристики влажности воздуха используются следующие характеристики: **упругость водяного пара, абсолютная влажность, массовая доля водяного пара, относительная влажность, дефицит влажности, точка росы и дефицит точки росы**.

Упругость водяного пара (e) – это парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе в миллиметрах ртутного столба (мм рт.ст.) или в гектопаскалях (гПа). Максимально возможная при данной температуре упругость водяного пара называется **упругостью насыщения** или **максимальной упругостью (E)**. Когда упругость водяного пара соответствует упругости насыщения, воздух становится насыщенным водяным паром и начинается процесс конденсации или сублимации с образованием капель воды или кристаллов льда.

Дефицит влажности или недостаток насыщения (d) – это разность между упругостью насыщения при данной температуре и фактической упругостью водяного пара

$$d = E - e \quad (2.12)$$

Абсолютная влажность (a) – это масса водяного пара в граммах, содержащегося в 1 м³ воздуха (г/м³). Для насыщенного пространства абсолютная влажность называется **насыщающим водяным паром** или **пределной влажностью (A)**.

Фактическая упругость и абсолютная влажность находятся в прямой зависимости от температуры испаряющей поверхности, а упругость насыщения и предельная влажность – от температуры воздуха (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Зависимость упругости насыщения и предельной влажности от температуры воздуха

$t^{\circ}\text{C}$	-30	-20	-10	0	10	20	30
$E, \text{ гПа}$	0,5	1,2	2,9	6,1	12,3	23,4	42,4
$A, \text{ г}/\text{м}^3$	0,3	1,1	2,3	4,9	9,4	17,3	30,4

Связь между упругостью водяного пара и абсолютной влажностью имеет вид:

$$a = \frac{1,06e}{1 + \alpha t} \quad (e - \text{мм рт.ст.}), \quad (2.13)$$

$$a = \frac{0,8e}{1 + \alpha t} \quad (e - \text{гПа}), \quad (2.14)$$

где: $\alpha = \frac{1}{273}$ – коэффициент объемного расширения воздуха;

t – температура воздуха в $^{\circ}\text{C}$.

Массовая доля водяного пара (s) – количество водяного пара в граммах в 1 килограмме влажного воздуха (г/кг). Она связана с упругостью водяного пара следующим соотношением:

$$s = 622 \frac{e}{P}, \quad (2.15)$$

где: P – давление воздуха.

До недавнего времени эту характеристику называли **удельной влажностью**. Если не происходит конденсация водяного пара или дополнительное испарение, то массовая доля водяного пара не изменяется при нагревании, охлаждении, сжатии и расширении воздуха.

Относительная влажность (f) – это отношение количества водяного пара, фактически содержащегося в воздухе, к максимально возможному при данной температуре, выраженное в процентах.

$$f = \frac{a}{A} 100\%, \quad (2.16)$$

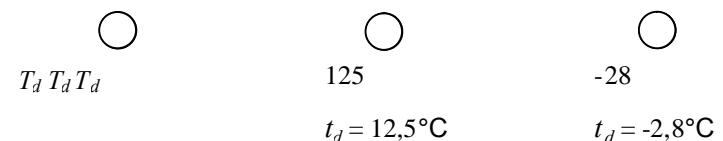
или

$$f = \frac{e}{E} 100\%, \quad (2.17)$$

Относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяным паром при данной температуре. Она находится в обратной зависимости от температуры воздуха.

Например: при $t = +10^{\circ}\text{C}$, $a = 4,9 \text{ г}/\text{м}^3$, $A = 9,4 \text{ г}/\text{м}^3$, $f = 52\%$; а при $t = 0^{\circ}\text{C}$, $a = 4,9 \text{ г}/\text{м}^3$, $A = 4,9 \text{ г}/\text{м}^3$, $f = 100\%$

Точка росы (t_d) – это температура, до которой необходимо охладить воздух, чтобы содержащийся в нем водяной пар при постоянных значениях давления и массовой доли водяного пара (удельной влажности) достиг состояния насыщения. При температуре воздуха равной точке росы относительная влажность равна 100% ($t = t_d$, $f = 100\%$). Точка росы всегда ниже температуры воздуха или равна ей. На картах погоды точка росы наносится в градусах Цельсия, с точностью до десятых долей, следующим образом:



Дефицит точки росы (Δt_d) – это разность между температурой воздуха и точкой росы.

$$\Delta t_d = t - t_d \quad (2.18)$$

Дефицит точки росы показывает, на сколько градусов надо охладить воздух, чтобы содержащийся в нем водяной пар достиг состояния насыщения. С достаточной точностью можно считать, что при $\Delta t_d \leq 4^{\circ}\text{C}$ воздух влажный, а при $\Delta t_d > 4^{\circ}\text{C}$ – сухой.

2.2.3. ПРОЦЕССЫ НАСЫЩЕНИЯ ВОЗДУХА ВОДЯНЫМ ПАРОМ

Степень насыщения воздуха водяным паром зависит от: **температуры воздуха, фазового состояния и кривизны испаряющей поверхности**. Все указанные факторы играют важную роль в процессе образования и рассеивания облаков и туманов.

Температура воздуха. Так как упругость водяного пара находится в прямой зависимости от температуры воздуха, основным процессом, приводящим к насыщению воздуха водяным паром, является **понижение температуры воздуха**. Понижение температуры приводит к насыщению воздуха имеющимся в нем водяным паром, а затем и конденсации или сублимации этого водяного пара, образованию капель воды и кристаллов льда, совокупность которых приводит к образованию облаков и туманов. Повышение температуры приводит к удалению воздуха от состояния насыщения водяным паром и к рассеиванию облаков и туманов.

Фазовое состояние испаряющей поверхности. При одной и той же температуре упругость насыщения больше над водной поверхностью и меньше надо льдом (табл. 2.4).

Таблица 2.4. Упругость насыщения водяного пара над водной поверхностью и надо льдом

$t, ^\circ\text{C}$ $E, \text{ гПа}$	0	-10	-20	-30	-40
над водой	6,10	2,85	1,27	0,50	0,19
надо льдом	6,10	2,60	1,03	0,37	0,13

Вследствие этого насыщение воздуха водяным паром относительно льда достигается при значениях относительной влажности (по отношению к воде) меньше 100% (табл. 2.5).

Таблица 2.5. Значения относительной влажности при насыщении воздуха надо льдом при различной температуре

$t, ^\circ\text{C}$	0	-10	-20	-30	-40
$f, \%$	100	91	82	74	67

Если в среду, насыщенную водяным паром и имеющую водяные капли, попадут ледяные кристаллы, то будет наблюдаться бурный рост кристаллов за счет капель, так как над кристаллами водяной пар окажется в значительном перенасыщении.

Кривизна испаряющей поверхности. Над выпуклой водной поверхностью упругость насыщения больше, чем над плоской (над мелкими каплями больше, чем над крупными). Это означает, что одно и то же количество водяного пара при данной температуре может оказаться насыщающим пространство по отношению к крупным каплям и ненасыщающим по отношению к мелким. При попадании больших капель в пространство, занятое мелкими каплями и насыщенное водяным паром по отношению к этим мелким каплям, большие капли начинают расти за счет мелких, так как по отношению к большим каплям пространство оказывается перенасыщенным водяным паром.

2.3. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

2.3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ И МЕТОДАХ ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ

Атмосферным давлением (Р) называется сила, вызванная весом столба воздуха, простирающегося через всю атмосферу, действующая на единицу горизонтальной поверхности.

Измерение давления проводится при помощи приборов, называемых **барометрами**. Основным прибором служит ртутный чашечный барометр, который устанавливается на метеорологических станциях. В приборе атмосферное давление уравновешивается давлением столба ртути. По изменению высоты ртутного столба можно судить об изменении атмосферного давления. Другие приборы (**анероиды, барографы, метеограммы, радиозонды** и др.) работают на принципе определения деформаций анероидной мембранный коробки, которые происходят при изменении атмосферного давления. Их необходимо градуировать (тарировать) по контрольному чашечному ртутному барометру.

Атмосферное давление измеряется в паскалях и миллиметрах (дюймах) ртутного столба. В системе СИ (Международная система единиц) давление измеряется в паскалях (Па). Один паскаль – это

давление силой в 1 ньютон (Н), приходящееся на площадь 1 м². Один паскаль это очень небольшое давление, поэтому в метеорологии используют величину в сто раз большую за паскаль и называют ее гектопаскалем (1 гПа = 100 Па). До недавнего времени в метеорологии использовалась единица давления, называвшаяся миллибаром (мб). При этом 1 мб = 1 гПа.

На практике широко используется внесистемная единица давления – 1 миллиметр ртутного столба (мм рт.ст.), в некоторых странах давление измеряется в дюймах ртутного столба.

Для перевода давления из гПа в мм рт.ст. необходимо число гектопаскалей умножить на 3/4 (0,75).

Для перевода давления из мм рт.ст. в гПа необходимо число миллиметров умножить на 4/3 (1,333).

На практике перевод осуществляется при помощи специальных таблиц. В качестве примера представлена таблица 2.6, которая позволяет переводить давление из гектопаскалей в дюймы ртутного столба и наоборот.

За нормальное давление принята величина 1013,25 гПа (760 мм рт.ст., 29,92 дюйма рт.ст.) при температуре 0°C на широте 45°. Эта же величина принята за давление на нулевом уровне в стандартной атмосфере (СА) при температуре 15°C.

С целью исключения влияния высоты на величину давления, давление на метеорологической станции (аэродроме) приводят к уровню моря. Атмосферное давление на уровне моря вдоль земной поверхности за период инструментальных наблюдений изменялось в очень широких пределах – от 877 гПа (Тихий океан, тропический циклон, 1958 г.) до 1083,2 гПа (Сибирский антициклон, 1968 г.). Обычно скорость изменения давления у земной поверхности не превышает нескольких гПа за сутки. При приближении атмосферных фронтов и глубоких циклонов она может составлять несколько гПа за час. В метеорологии изменения давления во времени характеризуют **барической тенденцией** – величиной изменения давления за последние три часа ($\pm ppa$), где:

+ – повышение;

- – понижение;

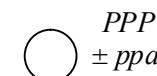
pp – величина изменения за последние три часа в гПа с десятыми долями;

a – характер изменения давления на ленте барографа.

Таблица 2.6. Перевод давления из гектопаскалей в дюймы ртутного столба

гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.	гПа	Дюйм рт.ст.
951	28,09	971	28,68	991	29,27	1011	29,86	1031	30,45
952	28,12	972	28,71	992	29,30	1012	29,89	1032	30,48
953	28,15	973	28,74	993	29,33	1013	29,92	1033	30,51
954	28,18	974	28,77	994	29,36	1014	29,95	1034	30,54
955	28,21	975	28,80	995	29,39	1015	29,98	1035	30,57
956	28,24	976	28,83	996	29,42	1016	30,01	1036	30,60
957	28,27	977	28,86	997	29,45	1017	30,04	1037	30,63
958	28,30	978	28,89	998	29,48	1018	30,07	1038	30,66
959	28,33	979	28,92	999	29,51	1019	30,10	1039	30,69
960	28,35	980	28,95	1000	29,54	1020	30,13	1040	30,72
961	28,38	981	28,97	1001	29,57	1021	30,16	1041	30,75
962	28,41	982	29,00	1002	29,60	1022	30,19	1042	30,78
963	28,44	983	29,03	1003	29,62	1023	30,22	1043	30,81
964	28,47	984	29,06	1004	29,65	1024	30,24	1044	30,84
965	28,50	985	29,09	1005	29,68	1025	30,27	1045	30,87
966	28,53	986	29,12	1006	29,71	1026	30,30	1046	30,89
967	28,56	987	29,15	1007	29,74	1027	30,33	1047	30,92
968	28,59	988	29,18	1008	29,77	1028	30,36	1048	30,95
969	28,62	989	29,21	1009	29,80	1029	30,39	1049	30,98
970	28,65	990	29,24	1010	29,83	1030	30,42	1050	31,01

На карты погоды возле кружка метеорологической станции наносится величина атмосферного давления, приведенного к уровню моря (PPP), и барическая тенденция ($\pm ppa$) в гПа с десятыми долями следующим образом:



При чтении величины атмосферного давления пользуются такими правилами:

- если указанное значение давления менее 500 (более 500), то мысленно впереди ставится 10(9) и последняя цифра отделяется запятой;
- если указанное значение давления равняется 500, то мысленно впереди ставится цифра 9 или 10 в зависимости от общего поля давления в данном районе и последняя цифра отделяется запятой.

Например:

134
○ +21 ↗

Атмосферное давление, приведенное к уровню моря: 1013,4 гПа; барическая тенденция: за последние три часа давление увеличилось на 2,1 гПа, давление увеличивалось неравномерно.

931
○ 00

Атмосферное давление, приведенное к уровню моря: 993,1 гПа; барическая тенденция: за последние три часа давление не изменилось.

2.3.2. ИЗМЕНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С ВЫСОТОЙ

Атмосферное давление убывает с высотой, поскольку масса вышележащего столба воздуха уменьшается. Для определения общего закона изменения давления с высотой возьмем систему координат с осью H , направленной вертикально вверх. Представим, что на плоскости XH давление воздуха равно P . Выделим элементарный объем с сечением, равным 1 см^2 , и высотой dH (рис. 2.7). Давление на верхней грани объема будет равно $P - dP$. Величина изменения давления dP равна весу воздуха, заключенного в рассматриваемом объеме (ρdH – масса, $\rho g dH$ – вес).

$$dP = -\rho g dH \quad (2.19)$$

где: ρ – плотность воздуха;
 g – ускорение силы тяжести.

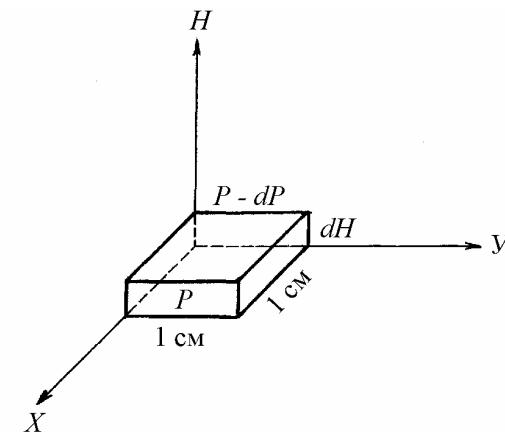


Рис. 2.7. Изменение давления з высотой

Полученное уравнение называется **основным уравнением статики атмосферы**. Знак минус в правой части показывает, что величина dP отрицательная, т.е. давление с высотой уменьшается. Проинтегрируем данное уравнение. Для этого подставим в него величину плотности воздуха из уравнения состояния газов

$$(PV = RT, V = \frac{1}{\rho}, P = \rho RT, \rho = \frac{P}{RT}) \text{ и получим}$$

$$dP = -\frac{gP}{RT} dH, \quad (2.20)$$

где: P – давление воздуха;
 R – газовая постоянная;
 T – абсолютная температура.

Разделим переменные и проинтегрируем левую часть от P_0 до P_H , а правую часть – от 0 до H :

$$\int_{P_0}^{P_H} \frac{dP}{P} = \int_0^H -\frac{g}{RT} dH. \quad (2.21)$$

Так как g и R изменяются незначительно, то их можно считать постоянными. Температура воздуха с высотой изменяется, поэтому возьмем ее среднюю величину T_{cp} в слое от 0 до H ($T_{cp} = \frac{T_0 + T_H}{2}$) и также будем считать ее постоянной величиной. После этого выражение (2.22) примет вид:

$$\int_{P_0}^{P_H} \frac{dP}{P} = -\frac{g}{RT_{cp}} \int_0^H dH. \quad (2.22)$$

В результате интегрирования получим:

$$\ln P_H - \ln P_0 = -\frac{gH}{RT_{cp}} + 0. \quad (2.23)$$

Отсюда: $\ln P_H = \ln P_0 - \frac{gH}{RT_{cp}}.$

Умножив второй член правой части на $\ln e = 1$, получим:

$$\ln P_H = \ln P_0 - \frac{gH}{RT_{cp}} \ln e.$$

После потенцирования имеем:

$$P_H = \frac{P_0}{e^{\frac{gH}{RT_{cp}}}}$$

или

$$P_H = P_0 e^{-\frac{gH}{RT_{cp}}}, \quad (2.24)$$

где: P_0 – давление на нижнем уровне;
 P_H – давление на высоте H ;
 e – основание натуральных логарифмов.

Полученная формула (2.24) выражает **общий закон изменения давления с высотой**, который показывает, что с высотой давление уменьшается по логарифмическому закону: в нижних слоях атмосферы оно уменьшается быстрее, чем в верхних.

2.3.3. Барометрические формулы

Из общего закона изменения давления с высотой можно найти значение высоты H . Для этого запишем его в виде:

$$\frac{P_0}{P_H} = e^{\frac{gH}{RT_{cp}}}$$

Прологарифмировав эту формулу, получим

$$\lg \frac{P_0}{P_H} = \frac{gH}{RT_{cp}} \lg e,$$

отсюда

$$H = \frac{RT_{cp}}{g \lg e} \lg \frac{P_0}{P_H}. \quad (2.25)$$

Абсолютную температуру представим как

$$T_{cp} = 273 + t_{cp}$$

или $T_{cp} = 273(1 + \frac{1}{273} t_{cp}),$

где: $\lg e = 0,43429 = M$ – модуль десятичного логарифма;
 $R = 287$ Дж/кгК;
 $g = 9,806$ м/с².

Подставляя значения T_{cp} и $\lg e$ в (2.25), получим:

$$H = \frac{R \cdot 273}{g \cdot 0,43429} (1 + \frac{1}{273} t_{cp}) \lg \frac{P_0}{P_H}.$$

При этом

$$\frac{R \cdot 273}{g} = \frac{287 \cdot 273}{9,806} = 7991 \text{ м} \approx 8000 \text{ м},$$

а т.к. $\frac{8000}{0,43429} = 18400$ (точнее 18401,2 м), то окончательно

$$H = 18400 \left(1 + \frac{1}{273} t_{cp}\right) \lg \frac{P_0}{P_h}, \quad (2.26)$$

где: H – высота в метрах;

P_0 – давление на нижнем уровне;

P_h – давление на высоте H ;

$t_{cp} = \frac{t_0 + t_h}{2}$ – средняя температура слоя воздуха;

$\frac{1}{273}$ – коэффициент объемного расширения газа.

Полученная формула называется **барометрической формулой Лапласа**. Зная давление на начальном уровне P_0 и на некоторой высоте P_h , а также среднюю температуру в слое воздуха от 0 до H , с помощью данной формулы можно определить высоту H в метрах. С ее помощью проводится тарировка (градуировка) барометрических высотомеров. Данную формулу можно применять только для тропосферы, так как она не учитывает влияния влажности воздуха и изменения силы тяжести в зависимости от высоты и широты места.

Для небольших разностей высот обычно используют упрощенную барометрическую формулу Бабине. Ее можно получить из основного уравнения статики атмосферы (2.19), если считать плотность воздуха между двумя уровнями постоянной и равной средней плотности рассматриваемого слоя воздуха (ρ_{cp}).

Запишем основное уравнение статики атмосферы в конечных приращениях:

$$\Delta P = -\rho_{cp} g \Delta H. \quad (2.27)$$

Решим это уравнение относительно ΔH и найдем абсолютную величину:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho_{cp} g}.$$

Заменим ρ_{cp} выражением из уравнения состояния газов:

$$\rho_{cp} = \frac{P_{cp}}{R T_{cp}},$$

тогда $\Delta H = \frac{R T_{cp} \Delta P}{\rho_{cp} g}, \quad (2.28)$

но $\Delta P = P_0 - P_h$, $P_{cp} = \frac{P_0 + P_h}{2}$, $T_{cp} = 273 \left(1 + \frac{1}{273} t_{cp}\right)$.

Подставим эти значения в (2.28) и получим:

$$\Delta H = \frac{R \cdot 273 \cdot 2}{g} \left(1 + \frac{1}{273} t_{cp}\right) \frac{P_0 - P_h}{P_0 + P_h},$$

как известно $\frac{R \cdot 273}{g} \approx 8000$ м,

тогда $\Delta H = 16000 \left(1 + \frac{1}{273} t_{cp}\right) \frac{P_0 - P_h}{P_0 + P_h}. \quad (2.29)$

Полученная формула называется **формулой Бабине**. Барометрические формулы Лапласа и Бабине применяются для решения следующих задач:

- определения превышения одного пункта над другим по данным измерения давления и температуры воздуха в этих пунктах. Такой метод определения превышения называется барометрическим нивелированием;
- расчета давления на заданной высоте, если известно давление на нижележащем уровне и средняя температура рассматриваемого слоя воздуха;
- приведения измеренного давления P к уровню моря или к уровню взлетно-посадочной полосы (ВПП). Данные об атмосферном давлении, приведенном к уровню моря, позволяют сравнивать между собой величины давления во всех пунктах земного шара и проводить синоптический анализ. Данные о давлении, приведенном к уровню ВПП, используются в авиационной практике.

2.3.4. Барическая ступень

Для ориентировочной оценки изменения давления с высотой, а также для приближенного расчета изменения высоты по разности значений давления на практике пользуются **барической ступенью**.

Барическая ступень (h) – это высота, на которую нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на одну единицу (на 1 гПа или 1 мм рт.ст.). Величину барической ступени можно определить из формулы Бабине (2.29).

По определению барической ступени $P_0 - P_h = 1$.

А так как $\frac{P_0 + P_h}{2} = P_{cp}$, то $P_0 + P_h = 2P_{cp}$.

После подстановки формула Бабине примет вид:

$$h = \frac{8000}{P_{cp}} \left(1 + \frac{1}{273} t_{cp}\right). \quad (2.30)$$

Из формулы видно, что величина барической ступени находится в прямой зависимости от температуры воздуха и в обратной – от давления, т.е. чем теплее воздух и меньше давление, тем больше барическая ступень, а, следовательно, тем медленнее уменьшается давление с высотой. У земной поверхности при стандартном давлении $P_0 = 1013,2$ гПа (760 мм рт.ст.) $h = 11$ м/мм рт.ст. или $h = 8$ м/гПа. Средние значения барической ступени на различных высотах представлены в табл. 2.7.

Таблица 2.7. Значения барической ступени на различных высотах

Высота, км	0	2	3	5	7	8	9	12	16	20
Барическая ступень, гПа	8,2	9,4	10,5	12,9	16,1	18,0	20,3	29,8	56,1	105,6

Величина барической ступени используется в авиации при расчетах безопасной высоты полета в равнинной и холмистой местности. С ее помощью можно приводить (в первом приближении) давление к уровню моря по формуле:

$$P_{\text{прив}} = P_{a/\partial} + \frac{H_{a/\partial}}{h}, \quad (2.31)$$

где: $P_{\text{прив}}$ – давление аэродрома, приведенное к уровню моря (мм рт.ст. или гПа);
 $P_{a/\partial}$ – давление аэродрома (мм рт.ст. или гПа);
 $H_{a/\partial}$ – высота аэродрома над уровнем моря в метрах;
 h – барическая ступень.

2.3.5. ПОНЯТИЕ О ГЕОПОТЕНЦИАЛЕ

Распределение давления в атмосфере можно представить в виде бесчисленного количества поверхностей, во всех точках которых давление одинаково. Такие поверхности называются **изобарическими** (*изо* – равный, *барос* – тяжесть, давление). Они располагаются одна над другой и не параллельны уровню моря, что объясняется неравномерным распределением по горизонтали температуры и давления воздуха, а, следовательно, и различной барической ступенью. Высоты изобарических поверхностей измеряются от уровня моря в единицах **геопотенциала**.

Геопотенциал представляет собой работу, которую надо совершить, чтобы поднять единицу массы от уровня моря до данной высоты. Сила тяжести P , действующая на единицу массы, равна $P = g \cdot 1 = g$, а работа Φ , затрачиваемая на поднятие единицы массы на высоту H , равна:

$$\Phi = gH. \quad (2.32)$$

Эту работу и называют **потенциалом силы тяжести** или **геопотенциалом**. **Единицей геопотенциала** является геопотенциальный метр (гпм), равный работе, которую надо совершить чтобы поднять массу в 1 тонну на высоту 1 метр при ускорении силы тяжести $g = 9,8$ м/с². Геопотенциальный метр отличается от линейного очень незначительно, всего на 0,3%. Но линейный метр характеризует только количественную сторону, а геопотенциальный метр – качественную сторону изобарической поверхности. Связь геопотенциала (высоты изобарической поверхности в геопотенциальных метрах) с температурой и давлением воздуха, полученная из основного уравнения статики атмосферы, имеет вид:

$$H_{zm} = 67,4424 T_{cp} \lg \frac{P_0}{P_h}. \quad (2.33)$$

Из формулы видно, что при постоянном значении P_h , высота изобарической поверхности находится в прямой зависимости от давления на уровне моря (P_0) и от средней температуры слоя воздуха (T_{cp}) от уровня моря до изобарической поверхности P_h , т.е. над районами с теплым воздухом и над областями высокого давления изобарические поверхности поднимаются вверх, а над районами с холодным воздухом и над областями низкого давления опускаются вниз относительно своей средней высоты.

2.3.6. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ БАРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Распределение давления на уровне моря вдоль земной поверхности представлено на приземных картах погоды. На эти карты наносится давление, измеренное на метеорологических станциях и приведенное к уровню моря. Точки с одинаковым давлением на картах погоды соединяются плавными линиями, которые называются *изобарами*. Изобары обычно проводятся через 5 гПа для значений давления, кратных 5 (995, 1000, 1005 и т.д.). Поле атмосферного давления, изображенное на картах погоды с помощью изобар, называется *барическим полем* или *барическим рельефом*. Формы барического поля носят название *барических систем*. Основными формами барического поля (барическими системами) являются: *циклоны, антициклоны, ложбины, гребни и седловины* (рис. 2.8).

Циклон - область низкого давления, очерченная на картах погоды замкнутыми изобарами, с минимальным давлением в центре. На картах погоды в Украине и странах СНГ обозначается буквой "**H**" (низкое давление), а на международных картах - "**L**" (low pressure). Давление в циклоне уменьшается от периферии к центру.

Антициклон - область высокого давления, очерченная на картах погоды замкнутыми изобарами, с максимальным давлением в центре. На картах погоды в Украине и странах СНГ обозначается буквой "**B**" (высокое давление), а на международных картах -

"**H**" (high pressure). Давление в антициклоне уменьшается от центра к периферии.

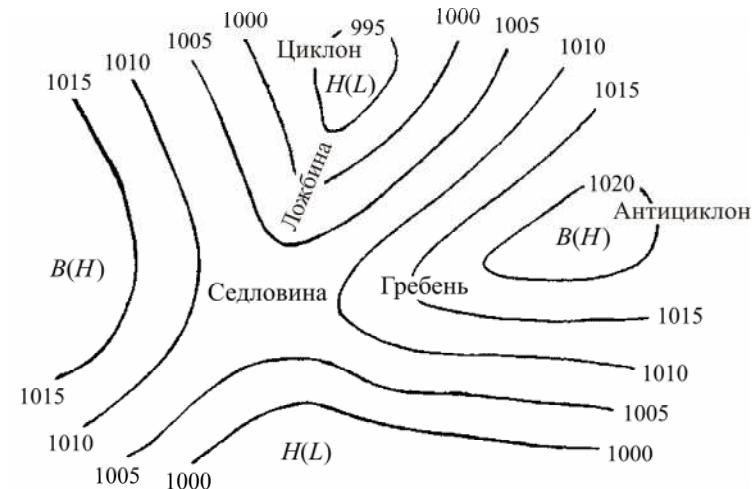


Рис. 2.8. Формы барического рельефа

Ложбина – узкая вытянутая полоса пониженного давления, расположенная на периферии циклона или между двумя антициклонами. Линия, соединяющая точки с наименьшим давлением в ложбине, называется *осью ложбины*.

Гребень – узкая вытянутая полоса повышенного давления, расположенная на периферии антициклона или между двумя циклонами. Линия, соединяющая точки с наибольшим давлением в гребне, называется *осью гребня*.

Седловина – это барическая система, которая образуется между двумя циклонами и двумя антициклонами, расположенными крестообразно.

В циклоне и ложбине, как правило, наблюдаются сложные условия погоды, в антициклоне и гребне – благоприятные, а в седловине – промежуточные.

2.3.7. ИНФОРМАЦИЯ О ДАВЛЕНИИ, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ПРИ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИИ ПОЛЕТОВ

Для обеспечения безопасности полетов установлены правила вертикального эшелонирования воздушных судов (ВС). **Эшелон полета** – это выделенная для полетов ВС относительная барометрическая высота (H_p), отсчитываемая от изобарической поверхности с давлением 760 мм рт.ст. (1013,2 гПа). Высота полета на эшелоне выдерживается с помощью барометрического высотомера, нуль шкалы которого установлен на давлении 760 мм рт.ст. Поэтому полет на эшелоне является полетом вдоль одной и той же изобарической поверхности. Истинная же высота полета (высота над рельефом местности), а также абсолютная (высота над уровнем моря) могут значительно отличаться от барометрической. Это обусловлено тем, что над различными районами уровень с давлением 760 мм рт.ст. располагается по-разному – выше или ниже уровня моря, т.е. изобарические поверхности не параллельны уровню моря. На рис. 2.9 схематически показано изменение абсолютной и барометрической высоты при полете на эшелоне.

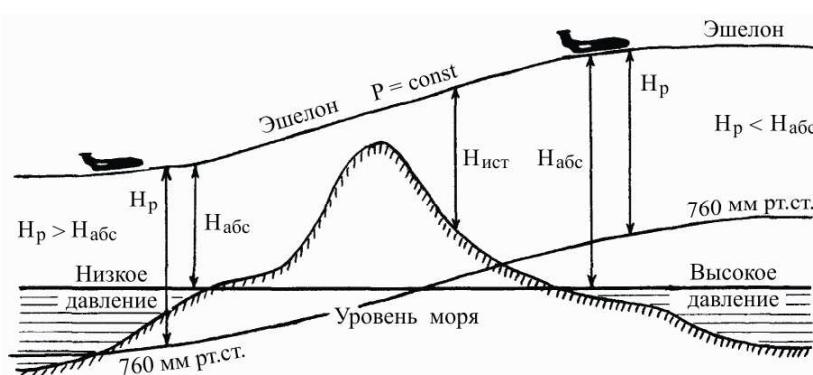


Рис. 2.9. Изменение абсолютной (H_{abs}) и барометрической (H_p) высоты полета на эшелоне

В связи с этим при метеообеспечении полетов используют различные значения давления: ***QFE***, ***QFF***, ***QNE***, ***QNH***.

Давление ***QFE*** [Question field elevation (Q – code)] – давление на уровне аэродрома или порога ВПП.

Давление ***QFF*** [Atmospheric pressure converted to mean sea level or barometric pressure setting at mean sea level (Q – code)] – атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря.

Давление ***QNE*** [Question normal elevation – standard pressure (Q – code)] – стандартное атмосферное давление по стандартной атмосфере.

Давление ***QNH*** [Question normal height – sea level pressure (Q – code)] – атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря по условиям стандартной атмосферы.

В сводках о фактической погоде в формате кодов METAR (SPECI) указывается давление *QNH* с округлением в меньшую сторону до целого гектопаскаля.

Аэродромные метеорологические органы предоставляют диспетчерскому органу подхода и аэродромной диспетчерской вышке информацию о фактическом значении *QNH* на регулярной основе, а *QFE* – в соответствии с договоренностью на регулярной основе или по запросу.

Районный диспетчерский центр обеспечивается данными о фактическом давлении *QNH* на аэродромах и прогнозируемом минимальном давлении *QNH* в пределах района полетной информации.

В местных регулярных и специальных сводках указывается информация о давлении *QNH* и *QFE* в гектопаскалях, а при потребности дополнительно указывается давление *QFE* в миллиметрах ртутного столба.

2.4. ПЛОТНОСТЬ СУХОГО И ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Одним из основных физических параметров атмосферы, оказывающим влияние на летные и эксплуатационные характеристики ВС, является **плотность воздуха**.

Плотность воздуха (ρ) – это масса воздуха в единице объема. Измеряется в $\text{г}/\text{м}^3$ или $\text{кг}/\text{м}^3$. Непосредственно плотность воздуха не измеряется, она определяется из уравнения состояния газов:

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{P}{R(273 + t)}, \quad (2.34)$$

где: P – давление воздуха;
 t – температура в $^{\circ}\text{C}$;
 R – газовая постоянная.

Из формулы видно, что плотность воздуха находится в прямой зависимости от давления и в обратной – от его температуры. При постоянном давлении плотность воздуха зависит только от изменения температуры, поэтому при полете на эшелоне ($P = \text{const}$) на летно-эксплуатационные характеристики ВС влияет только температура воздуха. С высотой плотность воздуха уменьшается, так как давление с высотой уменьшается быстрее, чем понижается температура. Так, до высоты 5 км давление уменьшается примерно в два раза, а температура понижается только на 12%. Понижение температуры несколько замедляет уменьшение плотности, поэтому плотность с высотой падает медленнее, чем давление. На высоте 5 км плотность воздуха составляет 60% от плотности на уровне моря, а на высоте 10 км – около 35%.

Плотность воздуха зависит также от его влажности. Плотность водяного пара при равных значениях температуры и давления составляет 0,622 от плотности сухого воздуха. Поэтому влажный воздух легче сухого. При температуре 40°C и относительной влажности 100% влажный воздух легче сухого на 2,8%. Для вычисления плотности влажного воздуха используют **виртуальную температуру** (T_v) – это такая температура, при которой плотность сухого воздуха равна плотности влажного воздуха, при том же давлении P :

$$T_v = T(1 + 0,378 \frac{e}{P}), \quad (2.35)$$

где: e – упругость водяного пара.

$$\text{Или} \quad T_v = T(1 + 0,608S), \quad (2.36)$$

где: S – массовая доля водяного пара.

Использование виртуальной температуры позволяет учитывать влияние влажности на плотность воздуха, а, следовательно, и на взлетно-посадочные характеристики ВС:

$$\rho_{\text{вл.в-ха}} = \frac{P}{R T_v}. \quad (2.37)$$

Влияние влажности на плотность воздуха целесообразно учитывать при температуре воздуха выше $+20^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности более 50%. Уменьшение плотности воздуха из-за содержащегося в нем водяного пара при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ равносильно повышению температуры на 5°C , а при температуре $+40^{\circ}\text{C}$ – почти на 9°C . Плотность воздуха также, как температура и давление, изменяется в пространстве и во времени. У экватора плотность воздуха в тропосфере меньше, чем в Европе. Зимой плотность воздуха больше, чем летом. В Европе средняя величина плотности воздуха у земной поверхности равна $1258 \text{ г}/\text{м}^3$, а на высоте 5 км – $735 \text{ г}/\text{м}^3$.

2.5. СТАНДАРТНАЯ АТМОСФЕРА

Состояние реальной атмосферы довольно изменчиво. Такие характеристики, как температура, давление и плотность воздуха, оказывающие влияние на полет самолета, могут значительно меняться в течение суток, года, а также отличаться между собой над различными географическими районами. Все это затрудняет использование указанных данных для расчетов аэродинамических характеристик ВС, сравнения этих характеристик, проведения градуировки пилотажно-навигационных приборов и т.д. Поэтому, для расчетов и проектирования летательных аппаратов, обработки результатов геофизических и метеорологических наблюдений, приведения результатов испытаний летательных аппаратов и их бортовых приборов к одинаковым условиям, применяется **стандартная атмосфера (СА)**. Это условная, “постоянная” атмосфера, которая отражает средние значения физических характеристик атмосферы по высотам. СА одинакова для любого времени суток и года и рассматривается в предположении, что воздух представляет собой идеальный газ и основные его параметры на уровне моря имеют определенные общепринятые исходные значения.

Для расчета СА используются данные многолетних метеорологических наблюдений в приземном слое, сведения, получаемые путем радиозондирования атмосферы, и результаты измерений с помощью метеорологических ракет за многолетний период. Существуют СА как международные, так и национальные, а также для отдельных географических районов (тропическая, арктическая летняя, арктическая зимняя). В настоящее время используется СА-81, которая по своей структуре и содержанию соответствует международному стандарту и стандарту Международной организации гражданской авиации. В ней физические величины выражены в единицах СИ. СА-81 устанавливает средние значения основных термодинамических параметров атмосферы (температуры, давления, плотности, ускорения свободного падения и скорости звука) в диапазоне от 2000 м ниже уровня моря до высоты 50 км для широты 45°32'33", Эти параметры соответствуют среднему уровню солнечной активности. В ней даются также рекомендации для высот 50...80 км и приводятся справочные данные для высот 80...120 км. Значения всех термодинамических параметров атмосферы даны не только для геометрической, но и для геопотенциальной высоты.

СА состоит из трех основных таблиц.

Таблица 1 содержит данные о температуре, атмосферном давлении, плотности воздуха и ускорении свободного падения на соответствующих геометрических и геопотенциальных высотах.

Таблица 2 содержит сведения об относительных значениях величин давления и плотности воздуха, скорости звука, динамической и кинетической вязкости и теплопроводности в зависимости от геопотенциальной высоты.

Таблица 3 содержит данные о высоте однородной атмосферы (условной атмосфере с одинаковой плотностью на всех высотах), удельной массе воздуха, концентрации, скорости и средней длине свободного пробега частиц воздуха.

Для различных высот физические характеристики при известных значениях температуры воздуха и относительной молекулярной массы рассчитаны по уравнению состояния газов и барометрическим формулам. При этом принято, что температура воздуха в тропосфере понижается с высотой по линейному закону. Ее вертикальный градиент до высоты 11 км

равен 0,65°C/100 м, в нижней стратосфере от 11 до 20 км температура остается постоянной (-56,5°C), а выше 20 км она растет и достигает -2,5°C на высоте 50 км.

Для уровня моря в СА-81 принятые следующие значения основных физических характеристик и констант:

- 1) температура воздуха – 15°C или 288,15K;
- 2) давление – 760 мм рт.ст. или 101325 Па (1013,25 гПа);
- 3) плотность воздуха – 1,225 кг/м³;
- 4) относительная влажность всей атмосферы – 0%;
- 5) молярная масса M_o – 28,964 кг/моль;
- 6) газовая постоянная сухого воздуха – 287,039 Дж/кг.К;
- 7) ускорение свободного падения – 9,8066 м/с²;
- 8) скорость звука рассчитывается по формуле $a = 20,0463\sqrt{T}$ и равняется 340,294 м/с.

В реальной атмосфере распределение температуры, давления, плотности воздуха и других параметров в конкретный момент и в конкретном пункте земного шара всегда в той или иной степени отличается от СА. В руководствах по летной эксплуатации самолетов и вертолетов все летно-эксплуатационные характеристики соответствуют условиям СА. Поэтому при полетах в реальной атмосфере нужно учитывать изменение летно-эксплуатационных характеристик при отклонении фактических значений физических характеристик от значений СА. Это осуществляется приведением летных характеристик к условиям СА.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Что называется температурой воздуха?
2. Где проводится измерение температуры воздуха на метеорологических станциях и с какой точностью?
3. Каким образом проводится переход от температуры воздуха в °F к °C и наоборот?
4. Какая температура воздуха определяется на метеорологических станциях?
5. Каким образом указывается температура воздуха на картах погоды?
6. Что является основным источником тепла для атмосферного воздуха вблизи земной поверхности?

7. При каких процессах происходит нагревание и охлаждение воздуха вблизи земной поверхности?
8. До каких высот происходит обмен теплом между земной поверхностью и атмосферой с помощью конвекции (радиации, турбулентности, теплопроводности)?
9. Какие изменения температуры воздуха называются периодическими (непериодическими) и за счет чего они происходят?
10. Когда наблюдается минимум (максимум) в суточном (годовом) ходе температуры воздуха?
11. Что называется суточной (годовой) амплитудой температуры воздуха и от чего она зависит?
12. Где находятся полюса холода (тепла) в Европе и на земном шаре в целом?
13. Что называется вертикальным температурным градиентом?
14. Что обозначает запись $\gamma = 0,65^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$, $\gamma = 0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$, $\gamma = -0,4^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$?
15. Какие задачи можно решать с помощью вертикального температурного градиента?
16. Что называется слоем инверсии (изотермии)?
17. Как образуется радиационная (адвективная, фронтальная, сжатия) инверсия?
18. Какое влияние на условия погоды и полетов оказывают слои инверсии (изотермии)?
19. Что называется кривой стратификации?
20. Как изменяется температура воздуха от экватора к полюсам при изменении широты на 1° ?
21. Что называется процессом конденсации (испарения, таяния, сублимации)?
22. Как изменяется температура воздуха при испарении (конденсации, сублимации) капель воды (водяного пара)?
23. Что называется влажностью воздуха?
24. Что называется упругостью (абсолютной, относительной влажностью, массовой долей) водяного пара?
25. Что называется точкой росы и как она наносится на карты погоды?
26. Какие процессы приводят к насыщению воздуха водяным паром и какой из них является основным?
27. Что называется атмосферным давлением и в каких единицах оно измеряется?
28. С помощью каких приборов измеряется атмосферное давление?
29. Что называется барической тенденцией?
30. Как на карту погоды наносится атмосферное давление и барическая тенденция?
31. Дать характеристику основного уравнения статики атмосферы.
32. Записать формулу основного закона изменения давления с высотой и объяснить ее физический смысл.
33. Записать формулу Лапласа (Бабине) и объяснить ее физический смысл.
34. Что называется барической ступенью и чему она равняется вблизи земной поверхности при измерении давления в гПа (мм рт.ст.)?
35. В каком воздухе давление с высотой убывает быстрее: в теплом или холодном?
36. Что называется изобарами и как они проводятся на картах погоды?
37. Что называется изобарической поверхностью?
38. Записать формулу геопотенциала и объяснить ее физический смысл.
39. Каким образом изменяется высота изобарической поверхности над циклонами (антициклонами), областями тепла (холода)?
40. Что называется циклоном (антициклоном, ложбиной, гребнем, седловиной)?
41. Что такое давление QNH (QFE, QFF, QNE)?
42. Какое давление указывается в сводках о фактической погоде METAR (SPECI)?
43. Какое давление указывается в местных регулярных (специальных) сводках о фактической погоде на аэродроме?
44. Что называется плотностью воздуха?
45. От каких физических характеристик атмосферы зависит плотность воздуха?
46. Что называется виртуальной температурой?
47. Какой воздух легче: сухой или влажный?
48. При каких значениях температуры и относительной влажности целесообразно учитывать влияние влажности на плотность воздуха?
49. Что такое стандартная атмосфера?
50. Чему равняется температура, атмосферное давление и плотность воздуха на уровне моря в стандартной атмосфере?

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

3.1. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ВЗЛЕТ И ПОСАДКУ САМОЛЕТОВ

Чтобы анализировать влияние атмосферных условий на взлет и посадку, необходимо хорошо представлять силы, действующие на самолет в полете.

Полная аэродинамическая сила (R), действующая на самолет, может быть выражена формулой:

$$R = C_R S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (3.1)$$

где: C_R – коэффициент полной аэродинамической силы;
 S – площадь крыла в плане;
 ρ – массовая плотность воздуха;
 V – скорость полета относительно воздуха (воздушная скорость самолета).

Из формулы видно, что величина полной аэродинамической силы прямо пропорциональна плотности воздуха. Выражение $\frac{\rho V^2}{2}$ – называют скоростным напором. Иными словами – это кинетическая энергия единицы объема воздуха: чем больше плотность воздуха, тем больше масса единицы объема и тем больше скоростной напор.

Для иллюстрации влияния температуры, давления и плотности воздуха на полет рассмотрим случай установившегося горизонтального движения (рис. 3.1).

В этом случае на самолет действуют следующие силы:

X – сила лобового сопротивления;

P – сила тяги двигателей;

Y – подъемная сила;

G – вес самолета;

α – угол атаки крыла.

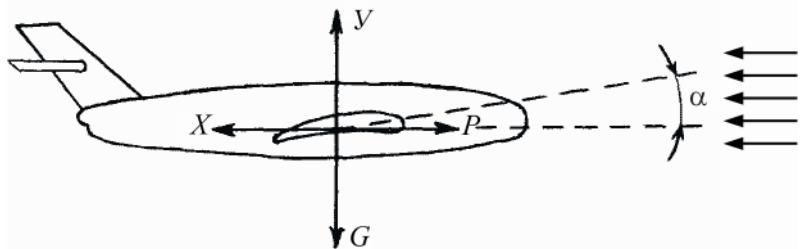


Рис. 3.1. Силы, действующие на самолет при установленном горизонтальном полете

Силы лобового сопротивления и подъемная являются проекциями полной аэродинамической силы, соответственно, на направление движения самолета и на направление, перпендикулярное траектории полета, и выражаются следующими формулами:

$$X = C_x S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (3.2)$$

$$Y = C_y S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (3.3)$$

где: C_x – коэффициент лобового сопротивления;

C_y – коэффициент подъемной силы.

В случае установленного горизонтального движения самолета все силы находятся в равновесии:

$$Y = G, \quad (3.4)$$

$$X = P. \quad (3.5)$$

Подставляя выражение (3.4) в (3.3), получаем ту воздушную скорость, при которой выполняется равновесие сил:

$$C_y S \frac{\rho V^2}{2} = G,$$

$$V_{nomp} = \sqrt{\frac{2G}{C_y S \rho}}. \quad (3.6)$$

Эта скорость называется потребной (V_{nomp}). Из формулы видно, что потребная скорость обратно пропорциональна плотности воздуха. Так как плотность воздуха с высотой уменьшается, потребная скорость при прочих равных условиях с высотой увеличивается. На высотах в СА около 9 км потребная скорость горизонтального полета примерно на 60% больше потребной скорости на уровне моря. Так как в полете высота выдерживается по барометрическому высотомеру ($P = const$), то потребная скорость зависит только от температуры воздуха. Подставляя значение плотности воздуха из уравнения состояния газов в формулу (3.6), получим:

$$V_{nomp} = \sqrt{\frac{2GRT}{C_y SP}}. \quad (3.7)$$

Из данного выражения следует, что чем выше температура воздуха, тем больше должна быть потребная воздушная скорость горизонтального полета.

Для взлета необходимо, чтобы подъемная сила была больше веса самолета, иначе говоря, чтобы скорость отрыва (V_{omp}) равнялась

$$V_{omp} = \sqrt{\frac{2GRT}{C_{y\,omp} SP}}, \quad (3.8)$$

где: $C_{y\,omp}$ – коэффициент подъемной силы, соответствующий углу атаки, при котором самолет может безопасно оторваться от земли.

Полученное уравнение показывает, что увеличение температуры воздуха влечет за собой увеличение скорости отрыва, а рост давления – уменьшение скорости отрыва. Изменение скорости отрыва приводит к изменению длины разбега и взлетной дистанции. Это особенно важно иметь в виду при взлете с горных аэродромов. Например, при повышении температуры на 10°C по сравнению со стандартной у большинства реактивных самолетов при неизменных оборотах двигателя длина разбега увеличивается на 13%, а понижение температуры на 10°C уменьшает длину разбега на 10%.

Длина разбега ($L_{разб}$) с учетом изменения плотности воздуха выражается следующей формулой:

$$L_{разб} = \frac{L_{разб.cm}}{\Delta^3}, \quad (3.9)$$

где: $L_{разб.cm}$ – длина разбега в стандартных условиях;

Δ – относительная плотность воздуха, равная отношению фактической плотности к стандартной.

Согласно формуле (3.9), изменение плотности на аэродроме значительно сказывается на длине разбега. Это влияние особенно ощутимо на горных аэродромах. Если аэродром расположен на высоте 1000 м над уровнем моря, то здесь за счет изменения плотности воздуха при прочих равных условиях длина разбега самолета на 33% больше, чем на аэродроме, находящемся на уровне моря со стандартной плотностью воздуха. Влияние изменения плотности воздуха на длину разбега самолета с поршневыми двигателями меньше, чем для реактивного.

Посадка самолета также зависит от атмосферных условий. Температура и давление сказывается на посадочной скорости (V_{noc}), длине пробега и посадочной дистанции самолета.

Посадочная скорость выражается формулой, аналогичной (3.8), т.е.:

$$V_{noc} = \sqrt{\frac{2GRT}{C_{y\,noc} SP}}, \quad (3.10)$$

где: $C_{y\,noc}$ – коэффициент подъемной силы, соответствующий условиям безопасной посадки.

Чем выше температура воздуха и меньше атмосферное давление, тем больше посадочная скорость.

Изменение длины пробега по сравнению с ее стандартным значением выражается формулой:

$$L_{проб} = L_{проб.cm} \frac{T}{T_{cm}} \frac{P_{cm}}{P}, \quad (3.11)$$

где: L_{prob} и $L_{prob.cm}$ – длина пробега при фактической (T) и стандартной (T_{cm}) температуре;
 P и P_{cm} – фактическое и стандартное давление.

По расчетам отклонение температуры воздуха от стандартной на 10°C изменяет длину пробега на 3,5%.

3.2. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РАСПОЛАГАЕМУЮ ТЯГУ ДВИГАТЕЛЕЙ

Располагаемая тяга (P_p) турбореактивных двигателей, под которой понимается наибольшая тяга, развиваемая двигателем на данной высоте при допустимом режиме работы, зависит от температуры и давления на уровне полета. С достаточной точностью ее можно выразить формулой:

$$P_p = m_e(C - V), \quad (3.12)$$

где: m_e – масса воздуха, проходящая через двигатель за 1 сек.;
 C – скорость истечения газов на срезе сопла;
 V – воздушная скорость самолета.

Из данной формулы видно, что располагаемая тяга прямо пропорциональна расходу воздуха. Так как весовой расход воздуха зависит от его плотности, то повышение температуры или понижение давления приводят к уменьшению располагаемой тяги. При постоянном давлении располагаемая тяга зависит только от температуры воздуха на данной высоте. В случае положительного отклонения температуры воздуха от СА располагаемая тяга уменьшается, а в случае отрицательного – увеличивается.

С высотой располагаемая тяга уменьшается и зависит от величины вертикального температурного градиента. Чем больше вертикальный температурный градиент, тем меньше уменьшается плотность воздуха и медленнее падает располагаемая тяга. В слоях инверсии и изотермии плотность воздуха с высотой убывает быстрее. Это обуславливает более интенсивное уменьшение располагаемой тяги с высотой. Соответствующие зависимости силы тяги от температуры и давления и ее отклонения от стандартной для конкретных двигателей приводятся в руководствах по летной эксплуатации (РЛЭ) и других документах.

Влажность воздуха также оказывает влияние на тягу газотурбинных двигателей. Это влияние проявляется двояко – через газовую постоянную и удельный вес воздуха. С возрастанием массовой доли водяного пара (удельной влажности) газовая постоянная увеличивается, работоспособность газа и полезная работа термодинамического цикла становятся выше, удельная тяга двигателя растет. Вместе с тем, водяной пар понижает удельный вес воздуха, уменьшая его весовой расход через двигатель, что приводит к падению тяги двигателя. В результате этого в жаркие дни во влажном воздухе тяга некоторых двигателей может уменьшиться на 0,5%, а удельный вес и часовой расход топлива возрастает на 2%.

3.3. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЧАСОВОЙ РАСХОД ТОПЛИВА

Влияние реального состояния атмосферы на часовой расход топлива можно выразить формулой:

$$C_q = C_{q.cm} \frac{P}{P_{cm}} \sqrt{\frac{T}{T_{cm}}}, \quad (3.13)$$

где: C_q и $C_{q.cm}$ – фактический и стандартный часовой расход топлива;
 P и P_{cm} – фактическое и стандартное давление;
 T и T_{cm} – фактическая и стандартная температура.

При полете на постоянной барометрической высоте эта формула упрощается, так как высота полета задается по барометрическому высотомеру от стандартного нулевого уровня и $P = P_{cm}$. Поэтому формула (3.13) будет иметь вид:

$$C_q = C_{q.cm} \sqrt{\frac{T}{T_{cm}}}. \quad (3.14)$$

Анализ формул (3.13) и (3.14) показывает, что при понижении давления и температуры часовой расход топлива уменьшается. При полетах на малых высотах, где температура и давление возрастают, расход топлива значительно увеличивается.

В том случае, если надо определить количество топлива, необходимое для выполнения полета на определенную дальность, учитывают километровый расход топлива (C_k), который связан с часовым расходом топлива соотношением:

$$C_k = \frac{C_q}{V} \quad (3.15)$$

Километровый расход топлива будет наименьшим на предельно допустимой высоте полета. Но выбор режима полета зависит не только от таких факторов, как температура и давление, но и от целого ряда других: скорости и направления ветра, наличия гроз, болтанки, обледенения и др.

3.4. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ДИАПАЗОН СКОРОСТЕЙ

Влияние атмосферы на максимальную скорость полета проявляется через сжимаемость и вязкость воздуха, которые увеличивают свое влияние с увеличением скорости полета. Критерием сжимаемости является скорость звука (a). Для характеристики условий обтекания самолета воздушным потоком используется число M , выражающее отношение скорости полета V к скорости звука a :

$$M = \frac{V}{a}, \quad (3.16)$$

скорость звука, равна:

$$a = 20,05\sqrt{T} \text{ (м/с)} \quad (3.17)$$

или $a = 72,2\sqrt{T}$ (км/ч), (3.18)

где: T – абсолютная температура воздуха.

Отсюда видно, что скорость звука зависит только от температуры воздуха. В тропосфере она понижается с высотой, а в стратосфере остается постоянной.

По мере увеличения скорости полета, число M невозмущенного потока достигает определенного критического значения ($M = M_{kp}$). При этом на обтекаемых частях самолета появляются

первые (местные) сверхзвуковые скорости. При полете с M_{kp} резко изменяются аэродинамические характеристики самолета: коэффициент лобового сопротивления (C_x) резко возрастает, а коэффициент подъемной силы (C_y) – падает. Эти изменения аэродинамических характеристик, вместе с вызвавшими их причинами, называются волновым кризисом. При волновом кризисе начинаются непроизвольные кабрирования самолета, опасные вибрации, ухудшение его управляемости. Для обеспечения безопасности полетов в летной практике используются предельные значения M и V (M_{np} и V_{np}). Эти значения несколько меньше M_{kp} и V_{kp} и равны:

$$M_{np} = \frac{V_{np}}{a}, \quad (3.19)$$

$$V_{np} = M_{np} a = M_{np} \cdot 20,05\sqrt{T}. \quad (3.20)$$

Максимальная скорость установившегося полета достигается при равенстве силы лобового сопротивления и располагаемой тяги двигателя (P_p). Из (3.2) и (3.5) можно определить, что

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2 P_p}{C_x S \rho}} = \sqrt{\frac{2 P_p R T}{C_x S P}}. \quad (3.21)$$

Выражение (3.21) записано для произвольной температуры. Аналогичное выражение можно записать для стандартного нулевого уровня с T_{0cm} . Если полученное выражение разделить на (3.21), то с учетом зависимости располагаемой тяги двигателя (P_p) от плотности (ρ) и температуры (T) получим:

$$V_{max} = V_{0cm,max} \sqrt{\frac{T_{0cm}}{T}}, \quad (3.22)$$

где: $V_{0cm,max}$ – максимальная скорость установившегося горизонтального полета вблизи стандартного нулевого уровня (по СА).

Расчеты показывают, что при понижении температуры на 5°C по отношению к СА, максимальная скорость увеличивается на 1%.

3.5. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПОКАЗАНИЯ УКАЗАТЕЛЯ СКОРОСТИ

Физические характеристики атмосферы влияют на показания указателя скорости, работающего на принципе измерения в полете разности между полным и статическим давлением. Разность этих давлений называется динамическим давлением или скоростным напором. Стрелка указателя скорости отклоняется пропорционально скоростному напору. Истинная скорость полета самолета выражается формулой:

$$V = V_i \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} = \frac{V_i}{\sqrt{\Delta}}, \quad (3.23)$$

где: V_i – индикаторная скорость, представляющая собой скорость по прибору при отсутствии инструментальных погрешностей;

Δ – относительная плотность.

Разность между истинной и индикаторной скоростью может быть весьма существенной. Так, на высоте 8...10 км в разные сезоны года и при разных синоптических ситуациях она может составлять 50...70% и более.

В комбинированном указателе скорости (КУС) истинную стандартную скорость показывает узкая стрелка. Показания справедливы для стандартного распределения плотности воздуха, так как прибор тарирован по стандартной атмосфере. Поскольку фактическая температура на высоте полета обычно отличается от стандартной, возникают погрешности, которые могут составлять 10...15% показаний прибора.

Принимая поправку на сжимаемость воздуха постоянной, показания истинной скорости можно записать следующим образом:

$$V = V_{uz.cmp} \sqrt{\frac{T}{T_{cm}}}. \quad (3.24)$$

При положительном отклонении фактической температуры от стандартной (обычно летом) прибор занижает показания, а при отрицательном отклонении (зимой) – завышает их.

Погрешность показаний узкой стрелки КУС, в зависимости от отклонений температуры воздуха от температуры в СА, может составлять 3...4% от истинной скорости полета.

3.6. ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМУЮ ВЫСОТУ ПОЛЕТА

В целях обеспечения безопасности полеты в ГА осуществляются на предельно допустимой высоте (H_{nd}), которая на 1...2 км меньше практического потолка воздушного судна. Вертикальная скороподъемность на предельно допустимой высоте составляет 3...4 м/с. Предельно допустимая высота устанавливается для каждого типа самолета с учетом его летно-технических характеристик. На этой высоте вертикальная и горизонтальная скорости, а также устойчивость самолета обеспечивают возможность уверенного его пилотирования и маневрирования.

Предельно допустимые высоты, как и другие летно-технические характеристики, приводимые в технической документации, даются для условий СА.

Изменение предельно допустимой высоты полета можно рассчитать по формуле:

$$\Delta H_{nd} = -K(T - T_{cm}) = -K\Delta T, \quad (3.25)$$

где: K – эмпирический коэффициент (для большинства самолетов равный 50 м/1°C), показывающий на сколько метров изменится предельно допустимая высота полета самолета при изменении температуры на 1°C.

T и T_{cm} – фактическая и стандартная температура воздуха.

Для учета изменений предельно допустимой высоты полета самолета в зависимости от температуры воздуха используются данные радиозондирования атмосферы.

В тех случаях, когда фактическая температура воздуха на данной высоте превышает стандартную температуру ($\Delta T > 0$), предельно допустимая высота уменьшается ($\Delta H_{nd} < 0$). Если фактическая температура на данной высоте ниже стандартной ($\Delta T < 0$), предельно допустимая высота увеличивается ($\Delta H_{nd} > 0$).

Изменения предельно допустимой высоты можно определить графически. Для этого на бланке аэрометрической диаграммы строится вспомогательная номограмма (см. главу 5). Из РЛЭ соответствующего самолета берутся значения H_{nd} в зависимости от полетного веса. По этим данным, а также по данным отклонений температуры воздуха от СА и ΔH_{nd} проводятся линии, характеризующие изменения H_{nd} в зависимости от отклонений температуры воздуха от СА (для соответствующего веса). Семейство таких линий в совокупности с изотермами и изобарами представляет собой номограмму. По номограмме можно определить изменение H_{nd} в зависимости от отклонения температуры воздуха от СА для любого их значения и соответствующих весов самолета.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Как зависит величина потребной скорости (скорости отрыва) от температуры воздуха?
2. Как зависит длина пробега (разбега) от температуры и давления?
3. Каким образом располагаемая тяга двигателей самолета зависит от температуры, давления и влажности?
4. Охарактеризовать зависимость показаний КУС от температуры воздуха.
5. Каким образом влияет температура воздуха на максимальную и предельную скорость полета самолета?
6. Охарактеризовать влияние температуры воздуха на предельно допустимую высоту полета.
7. Каким образом можно определить изменение предельно допустимой высоты полета в зависимости от температуры при помощи аэрометрической диаграммы?

ГЛАВА 4. ВЕТЕР И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПОЛЕТ

4.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕТРА

Ветер – это горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности.

В результате перемещения больших масс воздуха возникают атмосферные процессы, обуславливающие погодные условия в различных районах земного шара. Если бы не было движений воздуха, то не было бы и резких изменений погоды, наблюдался бы постепенный переход от зимы к лету и от лета к зиме, погода одного года не отличалась бы от погоды другого года.

При отсутствии горизонтальных движений теплые и влажные массы воздуха не перемещались бы с морей и океанов на материк, обуславливая зимние оттепели, а холодный воздух Арктики не проникал бы в умеренные и низкие широты, вызывая ранние осенние и поздние весенние заморозки. Горизонтальные движения приводят к сближению теплых и холодных масс воздуха, в результате чего возникают атмосферные фронты, характеризующиеся сложными погодными условиями, обширными облачными системами, зонами осадков и другими метеорологическими явлениями.

Кроме того, горизонтальные движения воздуха оказывают непосредственное влияние на полет воздушных судов. Это влияние проявляется двояким образом:

- во-первых, ветер, как движущаяся воздушная среда, изменяет скорость и направление перемещения воздушных судов по отношению к земной поверхности;
- во-вторых, вследствие того, что структура ветра носит турбулентный характер, нарушается равновесие аэродинамических сил при горизонтальном полете, за счет чего появляются добавочные ускорения, вызывающие вредные перегрузки и болтанку.

Основными характеристиками ветра являются – **направление** δ и **скорость** i . За направление ветра в метеорологии принята та часть горизонта, откуда он дует – **метеорологический ветер**. Направление ветра определяется в градусах или в румбах русскими или латинскими наименования-

ми (рис. 4.1). Градусы отсчитываются от северного направления географического меридиана по часовой стрелке от нуля до 360° – **истинный ветер**. В аэропортах, где магнитное склонение 5° и более, направление ветра отсчитывается от северного направления магнитного меридиана – **магнитный ветер**:

$$\delta_m = \delta \pm \Delta, \quad (4.1)$$

где: Δ – магнитное склонение.

При западном магнитном склонении берется знак плюс, при восточном – знак минус.

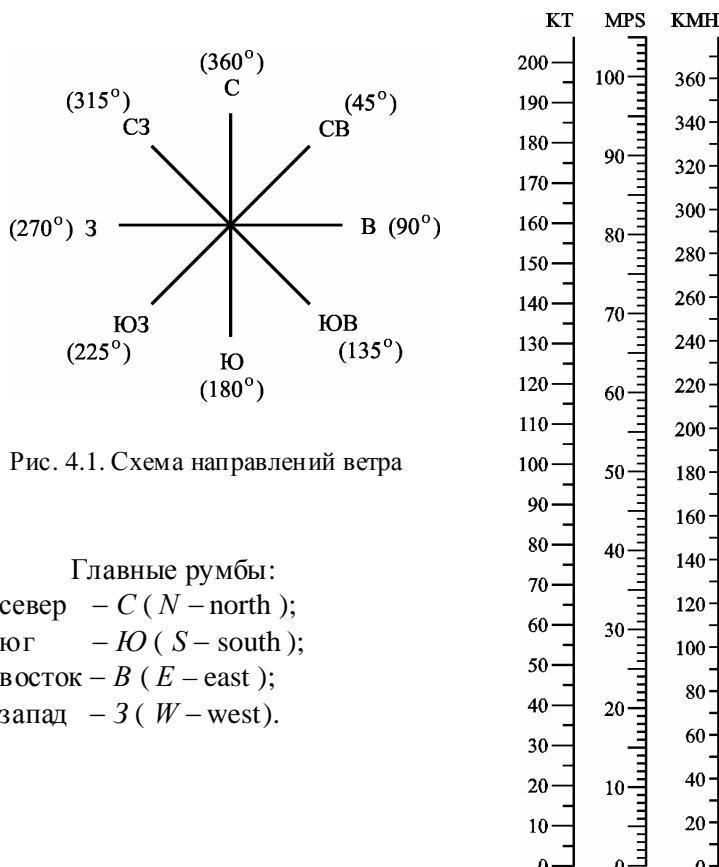


Рис. 4.1. Схема направлений ветра

Главные румбы:
север – *C* (*N* – north);
юг – *IO* (*S* – south);
восток – *B* (*E* – east);
запад – *3* (*W* – west).

Рис. 4.2. Соотношение между единицами скорости ветра

Магнитный ветер применяется в условиях взлета (посадки) воздушных судов и при полетах на высоте круга.

Истинный ветер передается на борт воздушных судов при полетах ниже 1000...1500 м.

Градиентный ветер (установившееся движение воздуха выше слоя трения) исчисляется от географического меридиана и применяется для обеспечения полетов на маршрутах.

В воздушной навигации при расчетах используется **навигационный ветер**, направление которого определяется той частью горизонта, куда направлен воздушный поток. Направление навигационного ветра δ_n отличается от метеорологического направления δ на $\pm 180^\circ$:

$$\delta_n = \delta \pm 180 \quad (4.2)$$

Если $\delta < 180^\circ$, то берется знак плюс, а если $\delta > 180^\circ$, то – знак минус. Скорость ветра измеряется в метрах в секунду (м/с – MPS), километрах в час (км/ч – КМН) и в узлах (КТ). Соотношение между единицами скорости ($1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/ч}$, $1 \text{ узел} = 0,5 \text{ м/с}$, $1 \text{ узел} = 2 \text{ км/ч}$) представлено на рис. 4.2.

Для качественной характеристики ветра, в зависимости от его скорости, используется следующая терминология:

- слабый до 3 м/с;
- умеренный 4...7 м/с;
- сильный 8...14 м/с;
- очень сильный 15...19 м/с;
- шторм 20...24 м/с;
- жесткий шторм 25...30 м/с;
- ураган более 30 м/с.

По направлению различают **постоянный и меняющийся** ветер, а по скорости – **ровный и порывистый**. Ветер называют **меняющимся**, если его направление за 2 минуты изменяется более, чем на $22,5^\circ$. Ветер считается **порывистым**, если его скорость за 2 минуты изменяется на 4 м/с и более. Кратковременное усиление ветра до 15 м/с и более со значительным изменением его направления называется **шквалом**.

На карты погоды ветер наносится следующим образом (рис. 4.3).

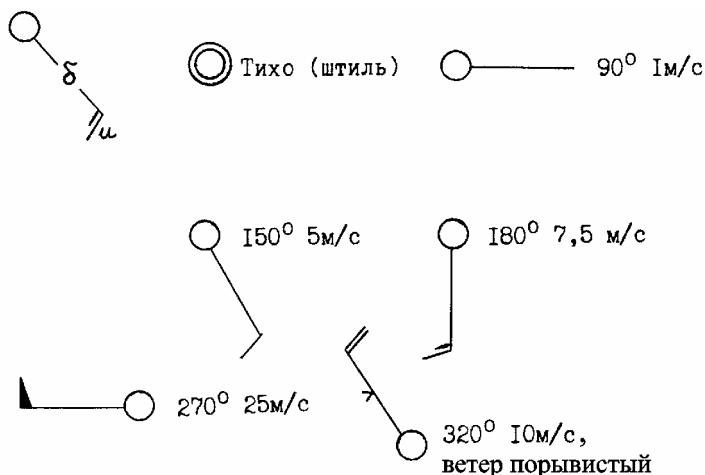


Рис. 4.3. Нанесение ветра на карты погоды

Скорость ветра у земной поверхности может достигать 50 м/с и более, а в свободной атмосфере – 100...150 м/с и более.

4.2. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В АТМОСФЕРЕ

4.2.1. СИЛА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БАРИЧЕСКОГО ГРАДИЕНТА

Непосредственной причиной возникновения горизонтального движения воздуха (ветра) является неравномерное распределение давления вдоль земной поверхности, которое, в свою очередь, является следствием неоднородного пространственного распределения температуры. Следовательно, ветер можно рассматривать как результат превращения тепловой энергии Солнца в энергию движения воздуха. Из области высокого давления воздух движется в область низкого давления подобно тому, как возникает движение жидкости в сторону более низкого ее уровня.

Изменение давления по горизонтали характеризует горизонтальный барический градиент Γ_p . Он показывает изменение давления ΔP на единицу длины ΔS по кратчайшему расстоянию из области высокого давления в область низкого давления:

$$\Gamma_p = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (4.3)$$

За единицу расстояния принят 1° дуги меридиана (111 км). Величина Γ_p обычно не превышает 1...3 гПа на 111 км, но при ураганах она может достигать 30 гПа на 111 км.

Горизонтальный барический градиент, отнесенный к единице массы, представляет собой силу горизонтального барического градиента G , под действием которой и происходит перемещение воздуха вдоль земной поверхности:

$$G = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (4.4)$$

где: ρ – плотность воздуха.

На картах погоды, где горизонтальное распределение давления характеризуется с помощью изобар, сила G направлена по перпендикуляру от изобары с большим давлением к изобаре с меньшим давлением. Так как на картах погоды изобары проводятся через 5 гПа, т.е. $\Delta P = 5$ гПа = const, то сила G зависит только от расстояния между изобарами (ΔS). Чем меньше ΔS (чем гуще изобары), тем больше сила G , а, следовательно, и большее скорость ветра (рис. 4.4).

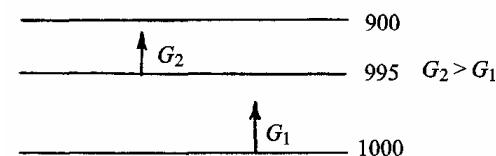


Рис. 4.4. Сила горизонтального барического градиента

Как только в атмосфере создается разность давлений в горизонтальном направлении и масса воздуха под воздействием силы горизонтального барического градиента начинает перемещаться в направлении вектора этой силы, т.е. от большего давления к меньшему, на этот воздух сразу же начинают оказывать влияние другие силы:

а) отклоняющая сила вращения Земли – сила Кориолиса F_k ;

- б) сила трения F_T ;
в) центробежная сила F_u .

4.2.2. ОТКЛОНЯЮЩАЯ СИЛА ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ – СИЛА КОРИОЛИСА

Это инерционная сила, которая возникает вследствие суточного вращения Земли вокруг своей оси. Отклонение движущегося воздушного потока происходит потому, что он по инерции сохраняет свое первоначальное направление движения относительно мирового пространства, в то время как Земля под воздушным потоком поворачивается вокруг своей оси. Сила Кориолиса всегда действует под углом 90° к направлению движения воздуха: вправо – в Северном полушарии и влево – в Южном (рис. 4.5). Поэтому эта сила не меняет скорости движения воздушного потока, а только изменяет его направление.

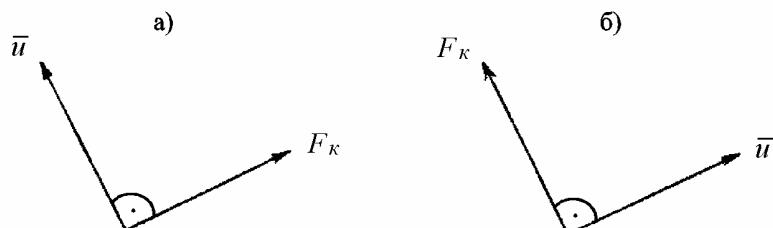


Рис. 4.5. Направление действия силы Кориолиса:
а) в Северном полушарии;
б) в Южном полушарии

Сила Кориолиса, действующая на единицу массы, равна:

$$F_K = 2\omega u \sin\varphi \quad (4.5)$$

где: ω – угловая скорость вращения Земли ($7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$);
 u – скорость воздушного потока;
 φ – географическая широта места.

Значение силы Кориолиса зависит от скорости ветра и широты места. Она уменьшается с убыванием широты места и на экваторе равна нулю ($\varphi = 0^\circ$, $\sin 0^\circ = 0$).

4.2.3. СИЛА ТРЕНИЯ

Эта сила возникает в результате трения движущегося воздуха о неровности подстилающей поверхности. Она всегда направлена в сторону, противоположную движению (рис. 4.6). Сила трения изменяет и направление, и скорость ветра.



Рис. 4.6. Действие силы трения

Величина силы трения, действующая на единицу массы, равна

$$F_T = -\kappa u, \quad (4.6)$$

где: κ – коэффициент трения, зависящий от степени шероховатости подстилающей поверхности и высоты.

Сила трения уменьшается с высотой и выше 500...1000 м ее влияние на движение воздуха практически не сказывается.

Сила Кориолиса и сила трения по порядку величины соизмеримы с силой горизонтального барического градиента.

4.2.4. ЦЕНТРОБЕЖНАЯ СИЛА

Центробежная сила F_u возникает при криволинейном движении воздушного потока. Она направлена от центра вращения по радиусу кривизны (рис. 4.7). Величина этой силы, действующей на единицу массы, равна

$$F_u = \frac{u^2}{r}, \quad (4.7)$$

где: r – радиус кривизны траектории.

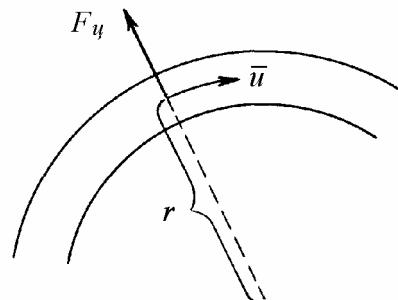


Рис. 4.7. Действие центробежной силы

При прямолинейном движении центробежная сила равна нулю. При движении воздуха в циклонах и антициклонах умеренных широт (радиус кривизны 1000 км и более) эта сила очень мала и при расчетах ее не учитывают. Центробежную силу необходимо учитывать при расчетах ветра в тропических циклонах, где она может превышать силу Кориолиса.

4.3. ГРАДИЕНТНЫЙ ВЕТЕР И ЕГО РАЗНОВИДНОСТИ

Градиентный ветер u_{zp} – это ветер выше слоя трения. Выше слоя трения масса воздуха движется под действием двух сил: силы горизонтального барического градиента и силы Кориолиса. В первоначальный момент под действием силы горизонтального барического градиента масса воздуха будет двигаться в направлении вектора этой силы. Однако, с началом движения, под влиянием силы Кориолиса частицы воздуха начнут отклоняться вправо. Это будет происходить до тех пор, пока сила горизонтального барического градиента и сила Кориолиса не уравновесят друг друга, т.е. окажутся лежащими на одной прямой, но направленными в противоположные стороны (рис. 4.8). Движение воздуха станет установившимся и будет направлено вдоль изобар. Скорость воздушного потока в данном случае определяется только силой горизонтального барического градиента, и поэтому такой ветер называется градиентным ветром.

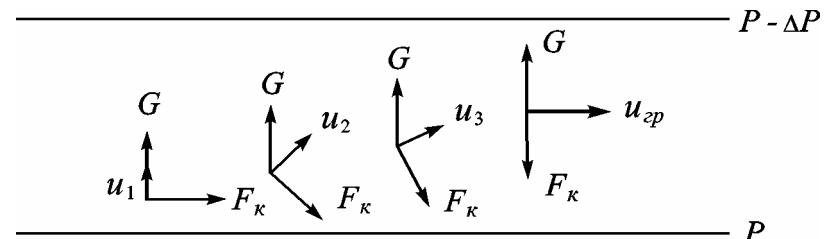


Рис. 4.8. Образование градиентного ветра

Т.е. *градиентный ветер* – это установившееся горизонтальное движение воздуха выше слоя трения, направленное вдоль изобар таким образом, что низкое давление всегда остается слева от потока.

Скорость градиентного ветра u_{zp} определяется из условия:

$$G = F_k \quad (4.8)$$

так как

$$G = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad \text{а} \quad F_k = 2\omega u \sin \varphi,$$

то

$$\frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{\Delta S} = 2\omega u_{zp} \sin \varphi,$$

из этого уравнения:

$$u_{zp} = \frac{1}{\rho 2 \omega \sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (4.9)$$

из уравнения состояния газов: $PV = RT$, $V = \frac{1}{\rho}$, $\rho = \frac{P}{RT}$,

и тогда:

$$u_{zp} = \frac{RT}{\rho 2 \omega \sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (4.10)$$

Обозначим буквой K величину $\frac{RT}{\rho 2 \omega}$ и получим:

$$u_{zp} = \frac{K}{\sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (4.11)$$

Это и есть формула для определения скорости градиентного ветра. Если в этой формуле привести в соответствие систему единиц, подставить в величину K известные числовые значения R и ω , принять, что $t=0^\circ\text{C}$, а $P=1000\text{ гПа}$, то формула скорости градиентного ветра будет иметь вид:

$$u_{zp} (\text{м/с}) = \frac{536}{\sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (4.12)$$

$$u_{zp} (\text{км/ч}) = \frac{1931}{\sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta S}, \quad (4.13)$$

где: φ – широта места;

ΔP – разность давления между изобарами в гПа;

ΔS – расстояние между изобарами в км.

Полученные формулы позволяют рассчитать скорость градиентного ветра для высот 500..1000 м по приземным картам погоды. На высотах выше 1000 м скорость градиентного ветра определяется по картам абсолютной топографии (АТ). Для карт АТ формула скорости градиентного ветра имеет вид:

$$u_{zp} (\text{км/ч}) = \frac{242}{\sin \varphi} \frac{\Delta H}{\Delta S}, \quad (4.14)$$

где: ΔH – разность высот между изогипсами в геопотенциальных метрах (гпм).

Градиентный ветер при прямолинейных параллельных изобарах называется **геострофическим ветром**, а при криволинейных изобарах – **геоциклострофическим ветром**.

4.4. ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА В СЛОЕ ТРЕНИЯ

В приземном слое атмосферы, в слое трения, на движение воздуха влияют три силы: сила горизонтального барического градиента, сила Кориолиса и сила трения. При установившемся

движении, когда скорость ветра постоянна, силы, действующие на массу воздуха, уравновешиваются друг друга (их векторная сумма равна нулю). В этом случае сила горизонтального барического градиента уравновешивается суммой сил Кориолиса и трения. Так как сила трения противоположна направлению движения воздуха, а сила Кориолиса в Северном полушарии отклоняется от него на 90° вправо, то воздушный поток в слое трения будет отклоняться от направления вектора силы горизонтального барического градиента вправо на некоторый угол α , который меньше 90° (рис. 4.9). Этот угол называется **углом отклонения**. При этом воздушный поток в слое трения будет направлен не вдоль изобар, а под некоторым углом к ним, отклоняясь от изобары с большим давлением в сторону изобары с меньшим давлением.

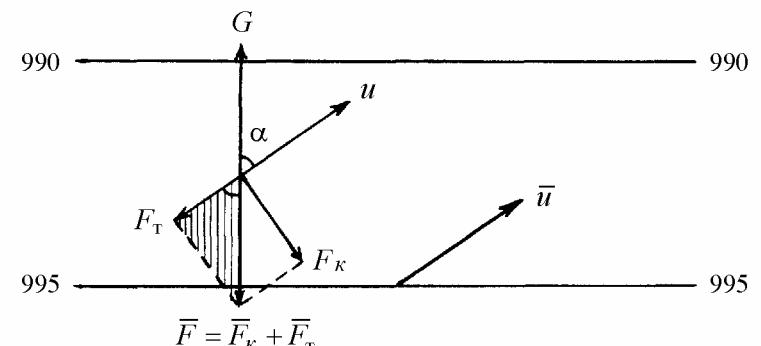


Рис. 4.9. Ветер в слое трения

Величину угла отклонения можно определить из заштрихованного треугольника, в котором один катет представляет собой вектор силы трения, второй – вектор силы Кориолиса, а гипотенуза – суммарный вектор

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_K}{F_T} = \frac{2\omega u \sin \varphi}{\kappa u}$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\omega \sin \varphi}{\kappa} \quad (4.15)$$

Таким образом, угол отклонения зависит от коэффициента трения и широты места. Угол отклонения будет тем больше, чем меньше коэффициент трения. Если коэффициент трения уменьшается (т.е. если “ k ” стремится к нулю), то угол α приближается к 90° . В среднем величина угла отклонения над сушею составляет $50\ldots60^\circ$, а над морем – $70\ldots80^\circ$. С высотой коэффициент трения уменьшается и угол α возрастает. Выше слоя трения $\alpha = 90^\circ$. Широта места оказывает следующее влияние на угол отклонения: на экваторе, где $\varphi = 0$ и $\alpha = 0$, движение воздуха будет совпадать с направлением силы барического градиента. Самое большое отклонение ветра от силы барического градиента (для Северного полушария в правую сторону) будет наблюдаться на полюсе, где $\varphi = 90^\circ$, а $\sin 90^\circ = 1$.

Здесь величина $\tan \alpha = \frac{2\omega}{k}$ имеет максимальное значение.

Таким образом, у поверхности земли ветер направлен не вдоль изобар, а под некоторым углом к ним, и, если стать спиной к ветру, то низкое давление будет находиться слева и несколько впереди, а высокое – справа и несколько позади наблюдателя. Это **барический закон ветра (правило Бейс-Балло)**.

Практически для определения направления ветра на приземной карте (в том районе, где данные отсутствуют) нужно провести перпендикуляр от изобары с большим давлением к изобаре с меньшим давлением. Затем отклонить его вправо на угол $50\ldots60^\circ$ и посмотреть, откуда дует ветер – это и есть направление ветра.

4.5. ИЗМЕНЕНИЕ ВЕТРА С ВЫСОТОЙ. ТЕРМИЧЕСКИЙ ВЕТЕР

С высотой скорость и направление ветра изменяются. В слое от земли до высоты 1000…1500 м (в слое трения) сила трения с высотой уменьшается, поэтому ветер с высотой усиливается и поворачивается вправо до тех пор, пока не станет градиентным (рис. 4.10). На высоте 500 м скорость ветра примерно в 2 раза больше, чем у поверхности земли. Угол отклонения от вектора силы горизонтального барического градиента постепенно увеличивается и на высоте 1000…1500 м достигает 90° . График изменения

ветра с высотой в слое трения называется спиралью Экмана (рис. 4.10). Таким образом, усиление и отклонение ветра вправо с высотой в слое трения происходит под влиянием уменьшения силы трения.

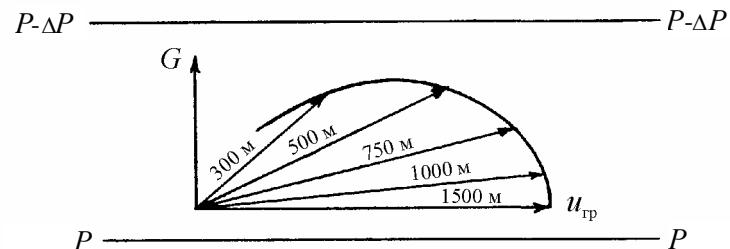


Рис. 4.10. Изменение направления и скорости ветра с высотой в слое трения (спираль Экмана)

Выше слоя трения, в свободной атмосфере, скорость ветра может как увеличиваться, так и уменьшаться с высотой. Здесь встречаются и правые, и левые повороты ветра, а иногда могут наблюдаться воздушные течения, противоположные направлению ветра у Земли.

Так как выше слоя трения ветер направлен вдоль изобар соответствующего уровня, то в свободной атмосфере изменение ветра обусловлено перестройкой барического поля, а, следовательно, и изменением направления силы горизонтального барического градиента. Перестройка барического поля от некоторого уровня H_1 до другого вышележащего уровня H_2 происходит в результате горизонтальных изменений температуры в этом слое воздуха. Эти изменения могут происходить по разным причинам, например, вследствие притока (адвекции) на высотах теплого воздуха с юга, холодного – с севера, потепления или похолодания, вызванного адиабатическими процессами, и т.д. С притоком тепла изобарические поверхности приподнимаются, а в области распространения холода – понижаются. Вследствие указанных причин давление воздуха на одном и том же уровне становится различным. В области тепла оно повысится и окажется большим, чем на одном и том же уровне в области холода. Таким образом, горизонтальные

изменения температуры на высоте вызывают изменение (перестройку) на этой же высоте барического поля, которое, в свою очередь, вызывает изменение направления и величины барического градиента, а, следовательно, изменение направления и скорости градиентного ветра. Теория этого вопроса разработана С.И. Троицким. Основы ее сводятся к следующему.

Перестройка барического поля под влиянием горизонтальных изменений температуры обычно начинается на нижнем (исходном) уровне слоя и заканчивается на его верхнем уровне. Здесь, на верхнем уровне рассматриваемого слоя воздуха, в результате подъема изобарических поверхностей над теплыми районами, в области теплого воздуха повышается давление и образуется барический градиент, направленный в сторону понижения температуры. Другими словами, здесь создается местный добавочный барический градиент, совпадающий по направлению с градиентом температуры, т.е. направленный по нормали к изотермам от тепла к холodu. Этому добавочному барическому градиенту будет соответствовать добавочная скорость градиентного ветра Δu , условно названная **термическим ветром**. Вектор Δu (термический ветер) направлен вдоль изотерм, оставляя область низких температур слева, (под действием силы Кориолиса термический ветер Δu отклоняется от силы добавочного барического градиента вправо на угол 90°). Таким образом, градиентный ветер, который образуется на верхнем уровне слоя \bar{u}_H , равен сумме вектора градиентного ветра на нижнем уровне \bar{u}_0 и вектора термического ветра Δu :

$$\bar{u}_H = \bar{u}_0 + \Delta u \quad (4.16)$$

Величину добавочной скорости градиентного ветра, т.е. величину термического ветра, можно определить следующим образом. Из барометрической формулы, выражающей общий закон изменения давления с высотой,

$$P_H = P_0 e^{-\frac{gH}{RT_{cp}}}$$

путем математических преобразований найдем величину добавочного градиента давления, возникшего на верхней границе слоя,

$$\frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{\rho g H}{T_{cp}} \frac{\Delta T}{\Delta S}, \quad (4.17)$$

где: $\frac{\Delta P}{\Delta S}$ – добавочный градиент давления на верхнем уровне;

$\frac{\Delta T}{\Delta S}$ – горизонтальный градиент температуры;

T_{cp} – средняя температура рассматриваемого слоя воздуха.

Подставим полученное значение добавочного градиента давления в формулу скорости градиентного ветра

$$u_{gp} = \frac{1}{2\omega \sin \varphi} \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

и получим выражение для величины термического ветра

$$\Delta u = \frac{g}{2\omega \sin \varphi} \frac{H}{T_{cp}} \frac{\Delta T}{\Delta S} \quad (4.18)$$

В зависимости от распределения на высотах областей тепла и холода, высокого и низкого давления (т.е. взаимного расположения изобар и изотерм, а, следовательно, горизонтальных барического и термического градиентов) рассмотрим четыре характерных случая изменения скорости и направления ветра с высотой.

1. Изотермы пересекаются с изобарами и отклонены от них вправо (за направление изобар принимается направление вектора \bar{u}_0 , а за направление изотерм – вектора Δu) (рис. 4.11).

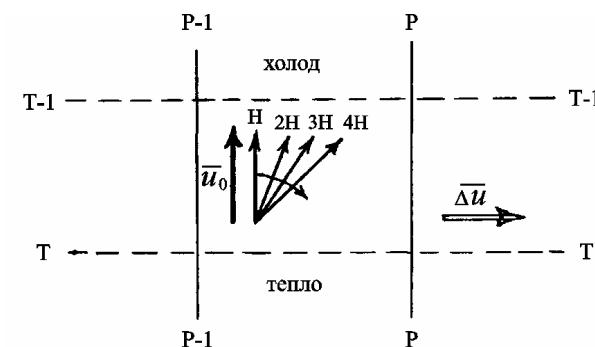


Рис. 4.11. Направление термического ветра (1-й случай)

В этом случае ветер с высотой отклоняется вправо и усиливается, происходит общий перенос воздушной массы из области тепла в область холода (адвекция тепла).

2. Изотермы пересекаются с изобарами и отклонены от них влево (рис. 4.12). В этом случае ветер с высотой усиливается и отклоняется влево, происходит общий перенос воздушной массы из области холода в область тепла (адвекция холода).

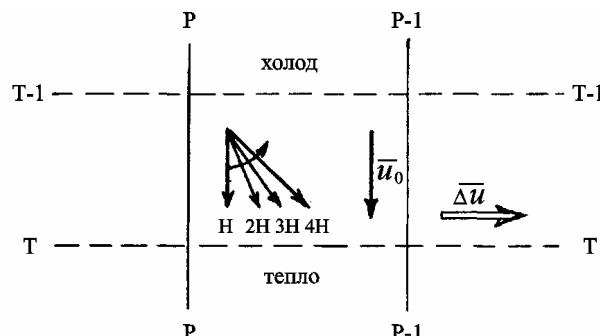


Рис. 4.12. Направление термического ветра (2-й случай)

3. Изотермы и изобары параллельны друг другу и совпадают по направлению (рис. 4.13).

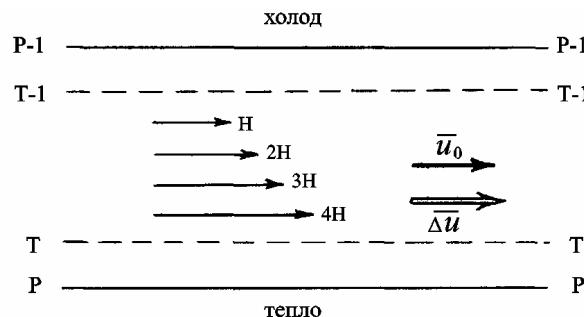


Рис. 4.13. Направление термического ветра (3-й случай)

В этом случае ветер с высотой усиливается, не меняя своего направления.

4. Изотермы и изобары параллельны друг другу, но направлены в противоположные стороны (рис. 4.14).

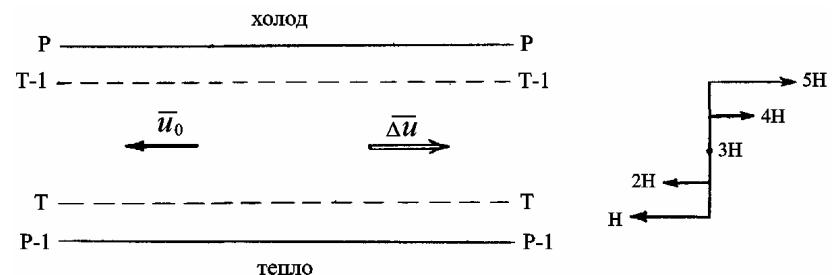


Рис. 4.14. Направление термического ветра (4-й случай)

В этом случае ветер с высотой ослабевает до штиля, не меняя направления, а затем меняет направление на противоположное и вновь усиливается.

Из всех рассмотренных случаев видно, что ветер (а значит и направление изобар) на высотах стремится принять направление изотерм, оставляя область холода слева.

4.6. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРА В ОБЛАСТИХ НИЗКОГО И ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ У ЗЕМЛИ И НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ

Учитывая влияние сил на движущуюся массу воздуха, можно определить направление ветра в барических системах в слое трения и выше его (рис. 4.15).

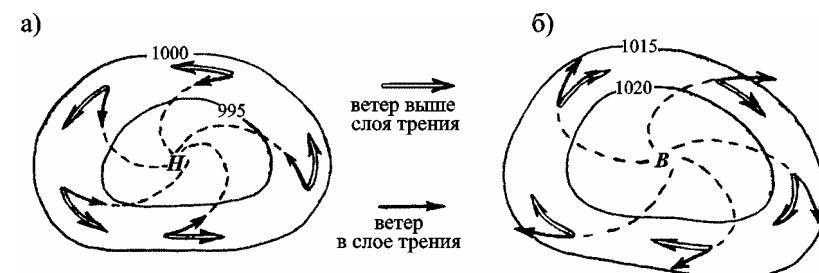


Рис. 4.15. Направление ветра в слое трения и выше его в циклонах (а) и антициклонах (б)

В циклоне сила горизонтального барического градиента направлена от периферии к центру, а в антициклоне – от центра к периферии. Выше слоя трения воздушные потоки под воздействием силы Кориолиса отклоняются от вектора силы G вправо на угол 90° , и поэтому в циклоне ветер направлен относительно его центра против движения часовой стрелки, а в антициклоне – по движению часовой стрелки (вдоль изобар, оставляя низкое давление слева).

В слое трения (от земли до высоты 1000...1500 м) под действием силы Кориолиса и силы трения воздушные потоки отклоняются от вектора силы G вправо на угол меньший 90° и образуют вихри с направлением потоков в циклоне – от периферии к центру, а в антициклоне – от центра к периферии. Т.е. циклон является областью сходимости приземных ветров, а антициклон – расходимости.

Проанализируем изменение ветра с высотой в различных частях циклона и антициклона выше слоя трения в предположении, что холод располагается на севере, а тепло – на юге (рис. 4.16).

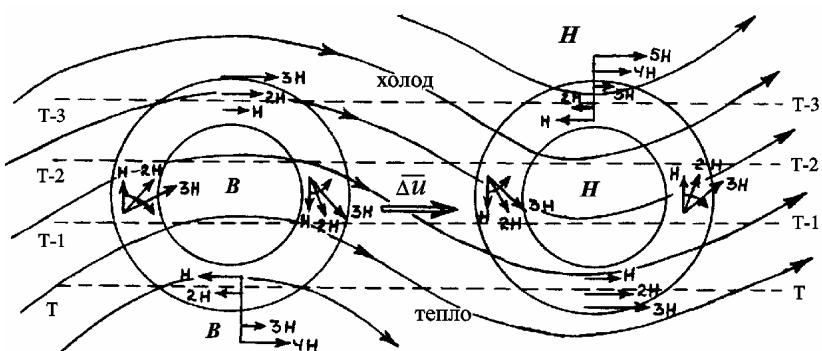


Рис. 4.16. Изменение ветра с высотой в различных частях циклонов и антициклонов

С учетом рассмотренных четырех характерных случаев изменения направления и скорости ветра с высотой можно сделать следующие выводы.

1. В передней части циклона и на западной периферии антициклона ветер с высотой усиливается и поворачивает вправо.
2. В тылу циклона и на восточной периферии антициклона ветер с высотой усиливается и поворачивает влево.
3. В южной части циклона и в северной части антициклона ветер с высотой усиливается, не меняя направления.
4. В северной части циклона и в южной части антициклона ветер с высотой ослабевает, на некотором уровне изменяет свое направление на противоположное, после чего усиливается.
5. При изменении ветра с высотой во всех частях циклона и антициклона его направление приближается к направлению параллельному изотермам. На некоторой высоте (обычно 3...5 км) образуется ветровой поток однородного направления. Этот поток называется *ведущим*. По направлению ведущего потока перемещаются циклоны и антициклоны, приземные центры которых располагаются под этим потоком. Скорость перемещения барических систем составляет 80% от средней скорости ведущего потока на высоте 3 км или 50% – на высоте 5 км.
6. Если по направлению самых верхних векторов градиентного ветра провести линии тока, то они будут иметь вид кривых, совпадающих с изобарами на этом уровне. Центр циклона на высоте смешен относительно приземного центра в область холода, а центр антициклона – в область тепла. Соответствующий наклон имеют также пространственные оси циклона и антициклона. Пространственная ось циклона наклонена в сторону холода, а антициклона – в сторону тепла. Ось бывает вертикальной только в старых барических образованиях, у которых отсутствует горизонтальная температурная неоднородность.
7. Правила о левом и правом вращении ветра с высотой могут быть использованы для прогностических целей и для определения расположения барических систем. Правое вращение ветра с высотой в свободной атмосфере является признаком наступающего потепления и приближения передней части циклона. Левое вращение характеризует вторжение холодного воздуха и приближение передней (восточной) части антициклона.

4.7. РЕАЛЬНЫЙ ВЕТЕР И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ВЗЛЕТ, ПОСАДКУ И ПОЛЕТЫ ПО ВОЗДУШНЫМ ТРАССАМ

Фактический ветер, измеренный с помощью шар-пилота, радиопилота или радиозонда, называется **реальным ветром**. Он не является устойчивым воздушным потоком как во времени, так и пространстве, поэтому использование реального ветра в навигационных расчетах имеет пространственные и временные ограничения и характеризуется **радиусом действия** – расстоянием от пункта измерения, на котором изменение характеристик ветра не превышает заданной величины, и **сроком годности** – промежутком времени, в течение которого изменение характеристик ветра не превышает заданной величины. В соответствии с требованиями к точности навигационных расчетов радиус действия измеренного ветра составляет 100...150 км, а срок годности – 3...6 час. Изменчивость характеристик ветра зависит от его скорости. Чем больше скорость ветра, тем меньше изменчивость его направления и тем больше изменчивость скорости. Ветру свойственна порывистость, вызываемая турбулентностью. Эта изменчивость ветра особенно резко выражена вблизи поверхности земли благодаря наблюдающейся здесь повышенной турбулентности.

Скорость ветра имеет ярко выраженный суточный ход. В приземном слое она имеет максимальное значение днем, а минимальное – ночью. На средних и больших высотах максимальная скорость ветра наблюдается ночью, минимальная – днем (ночью отсутствует тормозящее действие конвекции). С увеличением высоты скорость ветра обычно возрастает, достигая максимального значения под тропопаузой, выше указанного уровня скорость ветра убывает. Под тропопаузой, в верхнем слое тропосферы, нередко наблюдаются очень сильные ветровые потоки однородного направления со скоростью превышающей 30 м/с (100 км/ч). Такие ветры называются **струйными течениями**. Максимальная скорость в таком потоке отмечалась над Японией и равнялась 980 км/ч.

При планировании и выполнении полетов по воздушным трассам большой протяженности, длина которых значительно превышает радиус действия ветра, измеренного в аэропорту вылета, удобнее пользоваться характеристиками градиентного

ветра, определенными по картам барической топографии. Расчетные характеристики градиентного ветра, с допустимой в самолетовождении точностью, могут быть использованы во всех инженерно-штурманских расчетах. Однако нужно учитывать, что градиентный ветер все же отличается от реального ветра в атмосфере.

Отклонения реального ветра от градиентного (агеострофические отклонения) составляют: по направлению $\pm 30^\circ$, по скорости – 10...15%. Чем прямолинейнее воздушный поток и чем больше его скорость, тем больше направление реального ветра совпадает с направлением градиентного ветра.

Ветер оказывает существенное влияние на работу ГА, как в приземном слое, так и на высотах. Характеристики приземного ветра влияют на взлет и посадку воздушных судов, а ветер на высотах – на навигационные элементы полета. При сильном ветре на аэродроме могут возникать такие опасные для авиации явления погоды, как метели и пыльные бури, которые ухудшают видимость ниже минимума аэродрома. Ураганы и шквалы при взлете и посадке могут приводить к летным происшествиям. Турбулентный характер ветра вызывает интенсивную болтанку воздушных судов.

Ветер оказывает существенное влияние на взлетно-посадочные характеристики воздушных судов. Взлет и посадку самолетов стремятся производить 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.

Время и длина разбега (пробега), длина взлетной (посадочной) дистанции определяет потребные размеры аэродрома и взлетно-посадочной полосы.

Значительно усложняется взлет и посадка самолета при боковом ветре или при его больших боковых составляющих. При взлете с боковым ветром образуются дополнительные

аэродинамические силы, затрудняющие управление самолетом. Под влиянием этих сил возникают кренящий и разворачивающий моменты. Кренящий момент образуется вследствие неравномерного обдува крыльев. Например, если ветер направлен справа относительно линии движения самолета, то на правой плоскости крыла подъемная сила возрастает, а на левой плоскости, наоборот, уменьшается. Разворачивающий момент возникает из-за того, что центр тяжести и центр бокового давления ветра не совпадают. Поэтому боковой ветер создает силу, стремящуюся развернуть самолет против ветра. При очень сильном ветре реакция грунта на колеса шасси, противодействующая разворачивающему моменту, может оказаться недостаточной, чтобы удержать самолет, и он развернется поперек ВПП. Посадка самолета при боковом ветре связана с еще большими трудностями, чем взлет. Основная трудность заключается в том, что летчику приходится бороться со сносом самолета. Неточный учет ветра может привести к приземлению самолета вне ВПП. При сильном боковом ветре возможен срыв покрышек колес и поломка шасси в момент касания ВПП. В процессе пробега возникают разворачивающий и кренящий моменты, как и при разбеге.

В силу перечисленных выше причин для каждого типа самолета устанавливается предельно допустимая скорость бокового ветра (боковой составляющей), при которой возможен взлет и посадка. Ее значение зависит от особенностей конструкции самолета и удельной нагрузки на крыло.

На точность приземления воздушных судов существенно влияет также изменчивость характеристик ветра вдоль ВПП и по высоте в приземном слое (до высоты 60...100 м). Для количественной оценки изменчивости используется понятие *сдвиг ветра*. Это изменение характеристик ветра на небольшом расстоянии. Различают вертикальный и горизонтальный сдвиг ветра. Сдвиг ветра при отсутствии маневра рулями и тягой двигателя может привести к “перелету” или “недолету” самолета относительно расчетной точки приземления. Более подробно условия формирования сильных сдвигов ветра и их влияние на полет воздушных судов будут рассмотрены в главе “Опасные метеорологические явления”.

При полете на эшелоне ветер оказывает существенное влияние на наиболее важные в навигационном отношении элементы, определяющие точность самолетовождения. В первую очередь, это относится к направлению и скорости полета относительно земной поверхности, т.е. к путевой скорости и к углу сноса. Путевая скорость самолета \bar{W} представляет собой геометрическую сумму вектора воздушной скорости \bar{V} и вектора ветра \bar{u} .

$$\bar{W} = \bar{V} + \bar{u} \quad (4.19).$$

Из навигационного треугольника скоростей видно, что путевая скорость может существенно изменяться в зависимости от того, какой ветер – попутный, боковой или встречный (рис. 4.17). Максимальная путевая скорость бывает при попутном ветре, минимальная – при встречном. При постоянной воздушной скорости от направления и скорости ветра зависит продолжительность полета по воздушной трассе. Направление ветра, кроме того, оказывает влияние на угол сноса. При боковом ветре путевой угол отличается от курсового угла, поэтому для достаточно точного выполнения полета по заданному маршруту нужно учитывать угол сноса.

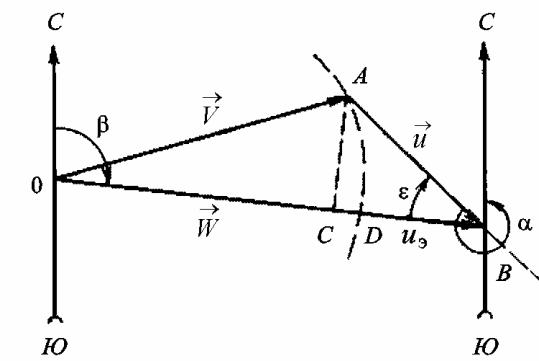


Рис. 4.17. Навигационный треугольник скоростей

В инженерно-штурманских расчетах для трасс большой протяженности вместо градиентного ветра принято использовать **эквивалентный ветер** u_e – расчетный ветер, направленный вдоль маршрута полета и оказывающий на путевую скорость такое же влияние, как реальный ветер.

Значение эквивалентного ветра равно разности модулей векторов путевой скорости \vec{W} и воздушной скорости \vec{V} :

$$u_e = |\vec{W}| - |\vec{V}|$$

Эквивалентный ветер – скалярная величина. Попутный эквивалентный ветер считается положительным ($|\vec{W}| > |\vec{V}|$), встречный – отрицательным ($|\vec{W}| < |\vec{V}|$).

Аналитическое выражение для расчета эквивалентного ветра может быть получено из навигационного треугольника скоростей (рис. 4.17).

$$u_e = u \cos \varepsilon - \frac{u^2}{V} \sin^2 \varepsilon, \quad (4.20)$$

где: u – скорость ветра;

ε – угол ветра;

V – воздушная скорость.

Приведенная формула позволяет определять эквивалентный ветер в одном пункте для определенного момента времени. Средний эквивалентный ветер по маршруту определяется по формуле:

$$u_{e, cp} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^{i=n} u_{e,i} S_i, \quad (4.21)$$

где: S – длина маршрута;

$u_{e,i}$ – эквивалентный ветер на участке;

$S_{e,i}$ – длина участка;

n – число участков на маршруте.

Эквивалентный ветер позволяет определять фактическую путевую скорость W_ϕ при известной воздушной скорости

$$W_\phi = V + u_e, \quad (4.22)$$

и требуемую воздушную скорость V_{mp} для полета по расписанию с заданной путевой скоростью W_{zad}

$$V_{mp} = W_{zad} + u_e \quad (4.23)$$

Климатические характеристики эквивалентного ветра могут быть использованы при планировании полетов по новым воздушным трассам и при составлении расписания полетов.

Режим ветра учитывается при выборе места расположения летного поля аэродрома, ориентировки и взаимного расположения нескольких взлетно-посадочных полос, а также при выборе места застройки аэродрома.

При проектировании направления ВПП особое внимание уделяется господствующему ветру в данном районе. Основную или главную ВПП ориентируют по направлению преобладающего ветра, остальные полосы являются вспомогательными. Повторяемость ветров различных направлений получают в результате климатической обработки наблюдений за ветром и представляют в виде диаграммы, называемой **розой ветров**. Повторяемость в процентах соответствующих направлений ветра откладывают на восьми румбах в определенном масштабе. Полученные крайние точки соединяют отрезками прямых линий (рис. 4.18).

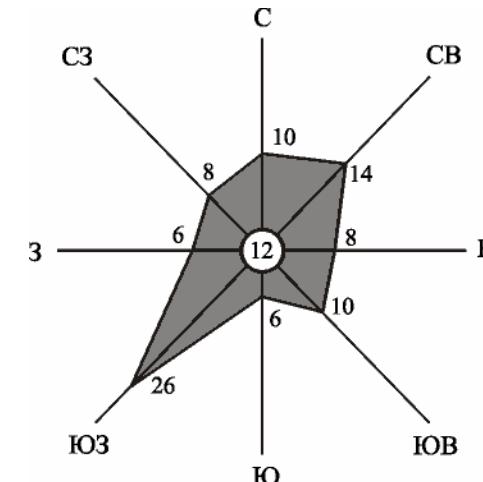


Рис. 4.18. Роза ветров

Ветры со скоростью, не превышающей 3 м/с, как мало влияющие на взлет и посадку самолетов, обычно относят к штилевому состоянию. Их повторяемость проставляется в кружке в центре розы ветров.

На примере диаграммы, показанной на рисунке, можно сделать вывод, что наибольшую для данной розы ветров повторяемость (40%) составляют ветры юго-западного и северо-восточного направлений. По этому направлению и нужно строить основную ВПП для данного пункта. Розы ветров строят месячные, сезонные и годовые.

4.8. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕТРА

Для измерения характеристик ветра у поверхности земли используют метеорологические приборы: флюгер, анемометр, анеморумбометр, анеморумбограф.

Флюгер – один из первых метеорологических приборов для измерения направления и скорости ветра. Он состоит из флюгарки, вращающейся вокруг вертикальной оси над крестовиной с указателями румбов, и металлической доски, по углу отклонения которой от вертикали определяют скорость ветра в метрах в секунду.

Анемометр – прибор для измерения скорости ветра. Обычно датчиком служит вертушка с несколькими полушариями, по частоте вращения которой в единицу времени определяют скорость ветра.

Анеморумбометр – предназначен для дистанционного измерения мгновенной, средней, максимальной скоростей и направления ветра. Датчиком скорости ветра в этих приборах обычно является четырех или восьмилопастная вертушка, датчиком направления – флюгарка. Принцип действия прибора основан на преобразовании скорости и направления ветра в электрические величины, отсчитываемые по показаниям соответствующих электроизмерительных приборов.

Анеморумбограф – самопишущий прибор для регистрации скорости и направления ветра.

На аэродромах наблюдения за ветром проводятся, как правило, вблизи зоны приземления ВПП рабочего курса посадки с помощью датчиков, установленных на высоте 8...10 м от

поверхности земли. На аэродромах, где предусмотрена установка датчиков в одной точке летного поля, их показания должны наиболее полно отражать условия над всей ВПП. На аэродромах, где из-за местных условий наблюдаются значительные различия в ветре на различных участках ВПП, устанавливаются дополнительные датчики ветра. При этом в регулярные и специальные сводки включаются данные о ветре, полученные из точки, где скорость ветра больше. В сводки для посадки включаются данные, полученные от датчика, расположенного по возможности ближе к зоне приземления, а в сводки для взлета – к зоне отрыва. Приборы для измерения характеристик ветра могут использоваться как отдельно, так и в составе аэродромных метеорологических информационно-измерительных систем. Индикаторы ветра, связанные с каждым датчиком, устанавливаются у наблюдателя и диспетчера, обслуживающего аэродромное движение.

Так как ветер непрерывно изменяется, для получения устойчивых его характеристик необходимо выбрать оптимальный отрезок времени для осреднения. По рекомендациям ICAO и WMO для обеспечения информацией о скорости ветра при обслуживании взлета, посадки и рулежки оптимальным является двухминутный интервал осреднения, при обслуживании ВС, находящихся на подходе и на кругу, а также для обмена информацией о ветре между аэродромами – десятиминутный. Для направления ветра достаточен двухминутный интервал осреднения. Порывистость ветра, которая характеризуется максимальным значением мгновенной скорости, целесообразно определять за предшествующие 10 минут.

Точность измерения характеристик ветра, желательная с точки зрения эксплуатации, представлена в таблице 12.1.

В свободной атмосфере для определения направления и скорости ветра используют шары-пилоты и радиозонды (радиопилоты).

Шар-пилот – это тонкая резиновая оболочка, наполненная водородом. В свободном полете, сохраняя постоянную вертикальную скорость, он движется вместе с воздушными потоками на высотах. С помощью оптического теодолита через определенные промежутки времени измеряются азимут и угол места шара-пилота. С помощью специального шаропилотного

круга по значениям полученных координат рассчитывают скорость и направление ветра на высотах. Шаропилотным методом можно измерять ветер только до нижней границы облачности.

Радиозонд применим в любое время суток, независимо от наличия облачности и осадков. Сущность радиозондирования состоит в радиолокации радиозонда – шара-пилота с подвешенным к нему радиозондом. Наблюдения проводятся радиолокационной метеорологической станцией (PMC), которая записывает на ленте наклонную дальность, азимут и угол места радиозонда. По этим данным проводится определение направления и скорости ветра на различных высотах.

На аэродромах наблюдения за ветром на высотах проводятся аэродромными метеорологическими органами с помощью шаров-пилотов в период полетов через каждые 3 часа, а также в другие сроки, при необходимости. По данным наблюдений определяется направление и скорость ветра на высоте 100 м и на уровне аэродромного круга полетов. Вместо данных шаропилотных наблюдений, проводимых на аэродроме, могут использоваться данные аэрологических станций и других метеорологических органов, расположенных в радиусе до 10 км от аэродрома, а также данные о ветре, получаемые с борта воздушных судов.

Выпуск шаров-пилотов и радиозондов на аэродроме во всех случаях проводится по согласованию с органами ОВД.

При невозможности определения характеристик ветра на высоте круга инструментальным способом аэродромные метеорологические органы с синоптической частью обеспечивают предоставление прогностических данных.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Что называется ветром?
2. В каких единицах измеряется направление и скорость ветра?
3. Как перевести скорость ветра из м/с в км/ч?
4. В каких аэропортах указывается магнитный ветер?
5. За счет чего возникает ветер?
6. Что называется горизонтальным барическим градиентом? Указать его средние и максимальные значения.

7. От чего зависит величина скорости ветра (из формулы силы горизонтального барического градиента)?
8. За счет чего возникает и как действует сила Кориолиса?
9. Записать формулу для определения силы Кориолиса и объяснить ее физический смысл.
10. Какие силы действуют на движущуюся массу воздуха в слое трения (выше слоя трения)?
11. Что называется градиентным ветром?
12. Каким образом по отношению к изобарам дует ветер в слое трения (выше слоя трения)?
13. Что называется циклоном (антициклоном)?
14. Сформулировать барический закон ветра (правило Бейс-Балло).
15. Каким образом изменяется скорость и направление ветра с высотой в слое трения (выше слоя трения)?
16. За счет чего возникает термический ветер?
17. Какой срок годности (радиус действия) данных о реальном ветре?
18. Что называется эквивалентным ветром и какие задачи решаются при его использовании?
19. Что такое роза ветров?
20. Как определяется направление и скорость ветра у Земли и на различных высотах?

ГЛАВА 5. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОДИНАМИКИ АТМОСФЕРЫ

5.1. ВИДЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ВОЗДУХА И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Атмосфера является чрезвычайно турбулентной средой, в которой наряду с горизонтальными движениями воздуха (ветром) наблюдаются и вертикальные движения в виде восходящих и нисходящих потоков. Вертикальные движения играют очень важную роль в развитии атмосферных процессов. Под их воздействием происходит перенос тепла и влаги от подстилающей поверхности вверх, образуются или размываются облака, возникают или прекращаются осадки, развивается грозовая деятельность, появляются турбулентные зоны, где наблюдается сильная болтанка ВС и т.д.

В зависимости от причин образования различают следующие виды вертикальных движений воздуха:

- конвекция;
- восходящее скольжение;
- динамическая турбулентность;
- волновые движения.

Конвекция – это вертикально направленные восходящие или нисходящие движения воздуха. Конвекция может быть термической и вынужденной.

Термическая конвекция (рис. 5.1) возникает в результате неравномерного нагревания Солнцем подстилающей поверхности (например, суши нагревается быстрее, чем водная поверхность, пашня быстрее, чем лесной массив и т.д.). Над более нагретыми участками поверхности воздух быстро прогревается, становится теплее окружающего и, как более легкий, начинает подниматься вверх. Рядом с таким восходящим потоком появляется нисходящий.

Термическая конвекция образуется также при движении холодного воздуха по теплой подстилающей поверхности. Термическая конвекция может иметь вид неупорядоченных потоков воздуха и может проявляться в виде мощных упорядоченных восходящих и нисходящих движений воздуха. При неупорядоченной конвекции, которую иногда называют

турбулентностью, происходит образование беспорядочных струек или пузырей воздуха, поднимающихся вверх или оседающих вниз вблизи земной поверхности. При упорядоченной конвекции в восходящих и нисходящих движениях участвуют достаточно большие массы воздуха. Горизонтальная протяженность конвективных зон составляет несколько километров, но бывает и несколько десятков километров.

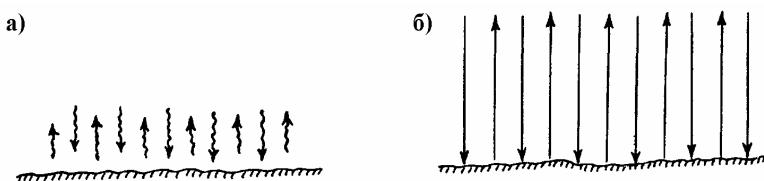


Рис. 5.1. Термическая конвекция
а) неупорядоченная;
б) упорядоченная;

Термическая конвекция имеет хорошо выраженный суточный и годовой ход с максимумом развития летом после полудня.

Вынужденная конвекция (рис. 5.2, 5.3) образуется:

- а) при подтекании холодного воздуха под теплый воздух на холодных фронтах;

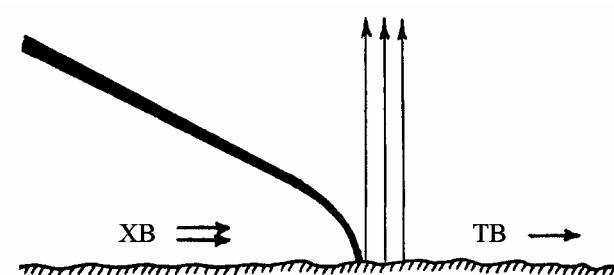


Рис. 5.2. Вынужденная конвекция на холодных фrontах

б) при натекании теплого воздуха на крутые склоны гор (орографическая конвекция).

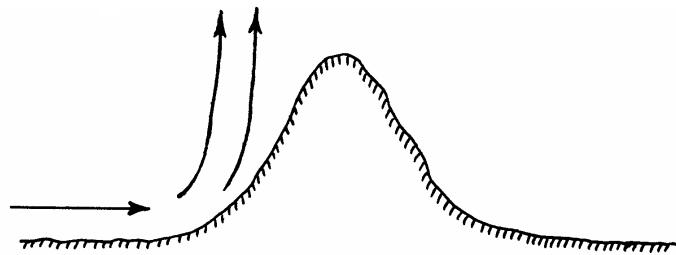


Рис. 5.3. Вынужденная (орографическая) конвекция

Конвекция распространяется до высоты от нескольких сотен метров до нескольких километров, иногда охватывает всю тропосферу. Скорость восходящих потоков может достигать 30...40 м/с и более, нисходящие – 10...15 м/с. Конвекция, как термическая, так и вынужденная, приводит к образованию облаков вертикального развития: кучевых, мощно-кучевых, кучево-дождевых и вызывает сильную болтанку воздушных судов в полете.

Восходящее скольжение – это наклонное движение больших масс воздуха, которое наблюдается:

а) при натекании теплого воздуха на холодный воздух на теплых фронтах (рис. 5.4);

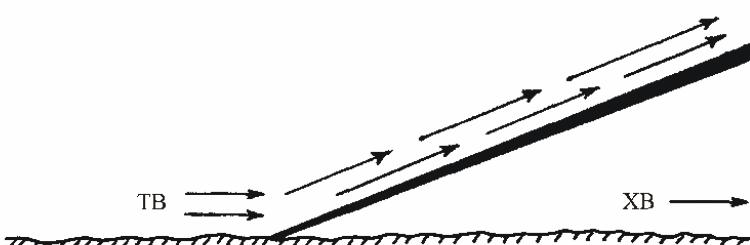


Рис. 5.4. Натекание теплого воздуха на холодный воздух

б) при натекании теплого воздуха на пологие склоны гор (рис. 5.5);

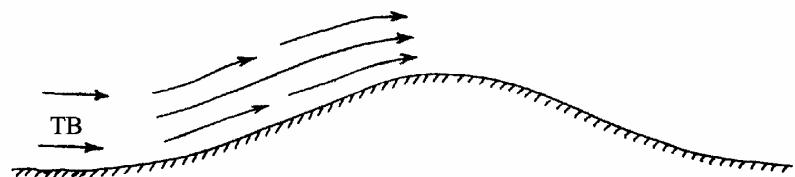


Рис. 5.5. Натекание теплого воздуха на пологие склоны гор

в) при медленном подтекании холодного воздуха под теплый воздух на холодном фронте I рода (рис. 5.6).

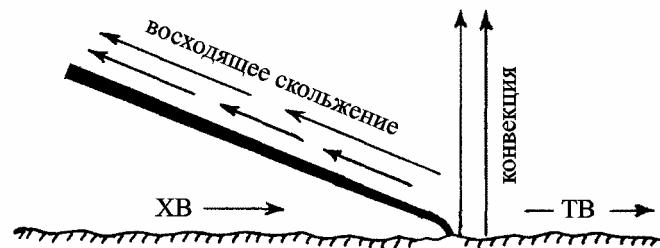


Рис. 5.6. Медленное подтекание холодного воздуха под теплый

Скорость восходящего скольжения 5...10 см/с, горизонтальная протяженность – несколько сотен и даже тысяч километров.

Восходящее скольжение приводит к образованию слоисто-образных облаков. Так как скорость восходящего скольжения очень мала, то болтанка ВС в зоне таких вертикальных движений отсутствует.

Динамическая турбулентность – это беспорядочные восходящие и нисходящие вихри, возникающие при горизонтальном перемещении и трении воздуха о подстилающую поверхность (рис. 5.7).

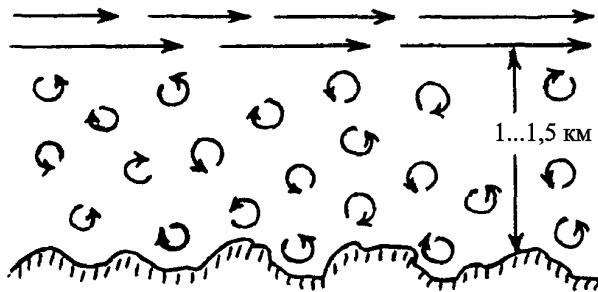


Рис. 5.7. Динамическая турбулентность

Динамическая турбулентность наблюдается в любое время года и суток. Ее интенсивность зависит от скорости ветра и рельефа. Чем сильнее ветер у земли и больше шероховатость земной поверхности, тем интенсивнее динамическая турбулентность.

Скорость вертикальных движений при динамической турбулентности достигает нескольких десятков сантиметров в секунду. Наблюдается в слое от земли до высоты 1...1,5 км. В летнее время года термическая конвекция и динамическая турбулентность часто наблюдаются одновременно. Динамическая турбулентность приводит к образованию волнистообразных облаков нижнего яруса и обуславливает на этапах взлета и посадки слабую, реже умеренную болтанку.

Волновые движения воздуха возникают в слоях инверсии и изотермии (на их верхней и нижней границах) вследствие разности плотности и скорости движения воздуха над и под инверсией. Подобно тому, как на поверхности моря, являющейся границей между двумя средами (водой и воздухом), возникают волны, так и граница инверсионного слоя представляет собой волнистую поверхность. При этом в вершинах волн имеют место восходящие движения, в долях – нисходящие (рис. 5.8).

Волновые движения воздуха образуются также в горных районах на подветренных сторонах гор (подветренные или горные волны). При определенных условиях волновые движения в горных районах охватывают почти всю тропосферу, а иногда проникают и в стрatosферу. Скорости восходящих и нисходящих потоков при волновых движениях достигают нескольких метров в секунду.

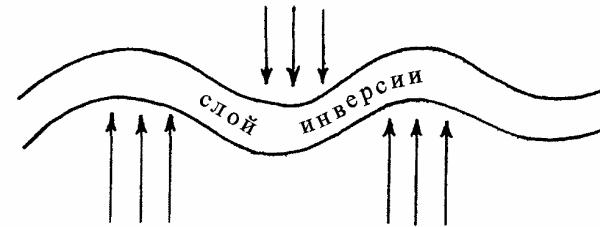


Рис. 5.8. Волновые движения воздуха

При достаточном влагосодержании в гребнях волн образуются волнистообразные облака. При полете и пересечении таких волн наблюдается циклическая болтанка ВС.

5.2. АДИАБАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ

В атмосфере постоянно происходят переходы одних видов энергии в другие. Наиболее характерными являются переходы тепловой энергии в механическую и обратно, которые осуществляются при термодинамических процессах.

Адиабатическим процессом называется термодинамический процесс, при котором изменение температуры в некотором объеме воздуха происходит без теплообмена с окружающей средой. При адиабатических процессах расширение воздуха сопровождается его охлаждением, а сжатие – нагреванием. В атмосфере адиабатические процессы наблюдаются при вертикальных движениях воздуха.

При восходящих потоках воздух, попадая из более плотных слоев атмосферы в менее плотные, расширяется. На работу расширения тратится внутренняя тепловая энергия, вследствие чего поднимающийся воздух охлаждается.

При движении вниз (нисходящие потоки) воздух попадает под большее давление и сжимается. Производимая при этом работа внешних сил (давление окружающей атмосферы) переходит в тепловую энергию, поэтому опускающийся воздух нагревается.

Величина изменения температуры воздуха, в зависимости от изменения давления, определяется уравнением Пуассона

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0,288}, \quad (5.1)$$

где: P_0 и T_0 – начальные величины давления и температуры; P и T – давление и абсолютная температура массы воздуха при адиабатическом изменении ее состояния.

Различают сухоадиабатические и влажноадиабатические процессы. Сухоадиабатические процессы происходят в сухом или влажном, но ненасыщенном воздухе. Влажноадиабатические процессы – во влажном насыщенном воздухе.

Количественной мерой изменения температуры сухого воздуха при адиабатическом процессе является *сухоадиабатический градиент* γ_a – изменение температуры в сухом или влажном ненасыщенном воздухе при его подъеме или опускании на каждые 100 м высоты. Расчет показывает, что величина

$$\gamma_a = 0,98^{\circ}\text{C}/100 \text{ м} \approx 1^{\circ}\text{C}/100 \text{ м} = \text{const.}$$

При поднятии воздуха вверх на каждые 100 м высоты происходит понижение его температуры на 1°C , а при опускании воздуха вниз – повышение температуры также на 1°C на 100 м высоты.

В воздухе, насыщенном водяными парами, изменение температуры при подъеме происходит по иному. Если вверх поднимается насыщенный воздух, то при понижении температуры за счет расширения, часть водяных паров конденсируется. В результате этого выделяется скрытая теплота конденсации (597 кал/г), которая существенно уменьшает охлаждение воздуха. Поэтому насыщенный воздух при подъеме на 100 м охлаждается на величину меньшую, чем 1°C . Эта величина называется *влажноадиабатическим градиентом* γ_{va} .

Влажноадиабатический градиент величина непостоянная и зависит от температуры и давления воздуха (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Значения влажноадиабатического градиента ($^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$)

Давление, гПа	Температура						
	-30°	-20°	-10°	0°	$+10^{\circ}$	$+20^{\circ}$	$+30^{\circ}$
1000	0,94	0,88	0,78	0,66	0,54	0,44	0,38
400	0,87	0,75	0,60	0,47	0,38	0,31	0,27

Чем выше температура в поднимающемся насыщенном воздухе, тем меньше величина влажноадиабатического градиента. Это объясняется тем, что при более высокой температуре в насыщенном воздухе содержится большое количество водяного пара, при конденсации которого выделяется большое количество скрытого тепла, в результате чего поднимающийся воздух охлаждается не так сильно. Если насыщенный воздух имеет низкую температуру, то в нем содержится очень небольшое количество водяного пара, в связи с чем происходит незначительное выделение скрытой теплоты в период его конденсации, и величина охлаждения воздуха при его поднятии приближается к сухоадиабатическому градиенту. С уменьшением давления (при одной и той же температуре) влажноадиабатический градиент уменьшается, так как воздух становится менее плотным и освобождающаяся скрытая теплота конденсации идет на нагревание меньшей массы воздуха. В среднем $\gamma_{va} = 0,5^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$. С высотой влажноадиабатический градиент увеличивается, и его величина приближается к сухоадиабатическому градиенту.

При опускании насыщенного воздуха происходит его адиабатическое нагревание, и он удаляется от состояния насыщения (т.е. становится ненасыщенным). Следовательно, опускающийся воздух всегда будет нагреваться по сухоадиабатическому закону, т.е. на 1°C на каждые 100 м.

Изменение температуры при адиабатических процессах можно изобразить графически при помощи линий, называемых *адиабатами*.

Линия, которая показывает изменение температуры в поднимающемся или опускающем сухом воздухе, называется *сухой адиабатой* (рис. 5.9).

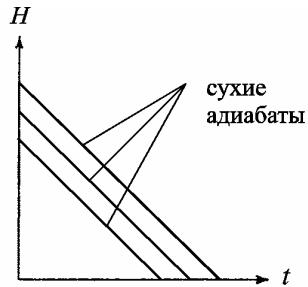


Рис. 5.9. Сухие адиабаты

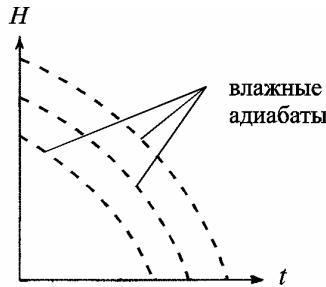


Рис. 5.10. Влажные адиабаты

Формула изменения температуры при сухоадиабатическом процессе представляет собой уравнение прямой линии

$$t_h = t_0 - \gamma_a H.$$

Если откладывать на осях координат в одинаковом масштабе температуру в 1°C и высоту 100 м, то прямая линия – сухая адиабата – будет наклонена к оси температур под углом 45°.

Линия, характеризующая изменение температуры в поднимающемся насыщенном воздухе, называется **влажной адиабатой** (рис. 5.10). Влажные адиабаты, в отличие от сухих, являются изогнутыми линиями, потому что γ_{va} величина непостоянная, при поднятии насыщенного воздуха γ_{va} увеличивается, приближаясь к γ_a .

Адиабатические изменения температуры могут наблюдаться и непосредственно у земной поверхности при изменении давления. Повышение или понижение давления на 1 гПа (при давлении $P \approx 1000$ гПа) вызывает соответствующее повышение или понижение температуры на $0,08^{\circ}\text{C}$.

5.3. УРОВНИ КОНДЕНСАЦИИ И КОНВЕКЦИИ

При подъеме ненасыщенного воздуха водяной пар, содержащийся в нем, вследствие понижения температуры приближается к состоянию насыщения. Относительная влажность поднимающегося влажного воздуха на каждые 10 м высоты увеличивается по сравнению со своим значением на земле приблизительно на 6%.

Высота, на которой водяной пар в поднимающемся воздухе достигает насыщения, называется **уровнем конденсации**. Очевидно, что на уровне конденсации температура воздуха равна точке росы, а относительная влажность становится равной 100% ($t = t_d$, $f = 100\%$).

Высота уровня конденсации h_k находится в прямой зависимости от температуры воздуха у земли и в обратной зависимости от его относительной влажности (рис. 5.11).

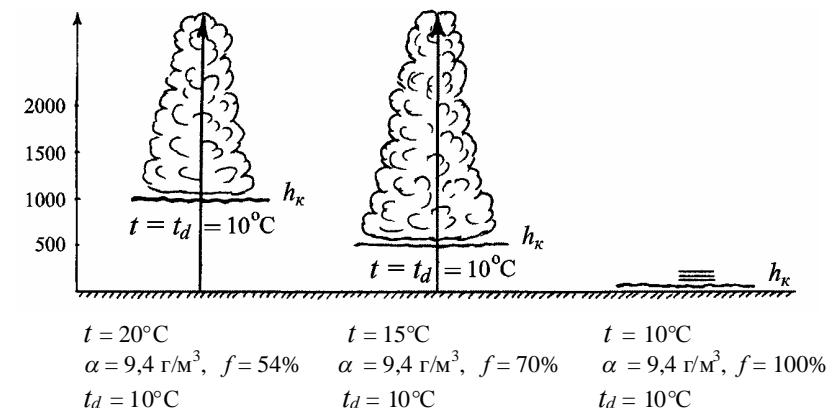


Рис. 5.11. Зависимость уровня конденсации от температуры и влажности воздуха

Высоту уровня конденсации можно определить графически по аэрологической диаграмме или рассчитать по формулам:

$$h_k = 17 (100 - f_0) \text{ м} \quad (5.2)$$

$$h_k = 123 (t_0 - t_{d0}) \text{ м} \quad (5.3)$$

где: f_0 , t_0 , t_{d0} – относительная влажность, температура воздуха и точка росы на поверхности Земли.

При подъеме воздуха выше уровня конденсации происходит конденсация водяного пара и образование облаков. Их нижняя граница на 100...200 м выше этого уровня. Объясняется это тем, что для образования видимого облака должно сконденсироваться определенное количество влаги, для

чего требуется некоторое добавочное охлаждение насыщенного воздуха ниже точки росы. Если уровень конденсации находится у подстилающей поверхности, то образуется туман.

Зная высоту уровня конденсации, можно графически изобразить кривую, характеризующую адиабатическое изменение температуры в поднимающемся воздухе при любых значениях температуры и давления. Такая кривая называется *кривой состояния* (рис. 5.12).

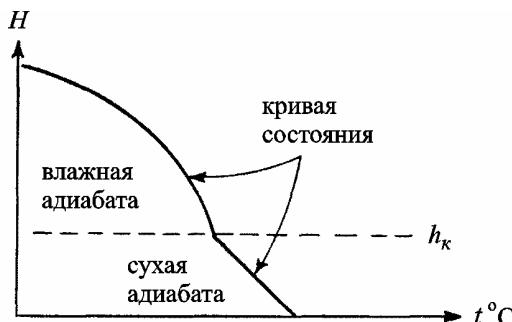


Рис. 5.12. Кривая состояния

В нижней своей части, от земли до уровня конденсации, кривая состояния имеет вид сухой адиабаты, выше уровня конденсации – влажной адиабаты.

При восходящем движении воздушная масса может подниматься вверх до тех пор, пока ее температура не сравняется с температурой окружающего воздуха. *Уровень конвекции* – это высота, до которой может распространяться восходящий воздушный поток. На уровне конвекции температура поднимающегося воздуха равна температуре окружающего воздуха. Высота уровня конвекции находится в прямой зависимости от начальной температуры поднимающегося воздуха и вертикального температурного градиента в окружающем воздухе (рис. 5.13). Слои инверсии и изотермии являются уровнями конвекции для восходящих движений в подинверсионном слое.

В первом приближении можно считать, что уровень конденсации совпадает с нижней границей облаков, а уровень конвекции – с верхней.

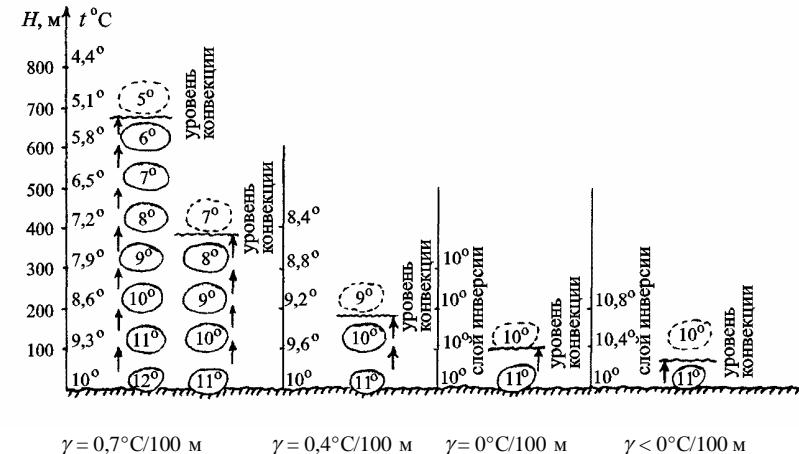


Рис. 5.13. Зависимость уровня конвекции от величины вертикального температурного градиента

Для образования облаков существенное значение имеет взаимное расположение уровней конвекции и конденсации. Если уровень конвекции располагается выше уровня конденсации, то между этими слоями, как правило, образуются облака (рис. 5.14).

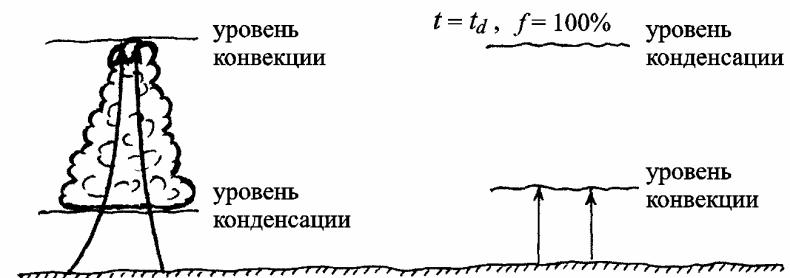


Рис. 5.14. Влияние взаимного расположения уровней конвекции и конденсации на образование облаков

Если уровень конвекции лежит ниже уровня конденсации, то восходящие потоки не приводят к образованию облаков. Уровень конвекции является также верхней границей слоя болтанки BC, вызываемой неустойчивым состоянием атмосферы.

5.4. ВЕРТИКАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ АТМОСФЕРЫ

Причины возникновения вертикальных движений воздуха рассмотрены в параграфе 5.1. Условия для их дальнейшего развития в атмосфере могут быть благоприятными и неблагоприятными. Так, при неодинаковом нагревании различных участков земной поверхности, вблизи нее возникают вертикальные токи воздуха, но, в зависимости от физического состояния атмосферы, они могут быстро затухать на небольшой высоте, или же, наоборот, распространяться на большую высоту, приобретая значительные вертикальные скорости.

На развитие вертикальных движений воздуха и их интенсивность существенное влияние оказывает соотношение между температурой поднимающегося или опускающегося объема воздуха и температурой окружающей его среды. Такое соотношение определяется при сравнении сухоадиабатического или влажноадиабатического градиента с вертикальным температурным градиентом, характеризующим реальное распределение температуры воздуха с высотой.

Рассмотрим четыре случая, характеризующие развитие вертикальных движений воздуха, в зависимости от величины вертикального температурного градиента (рис. 5.15).

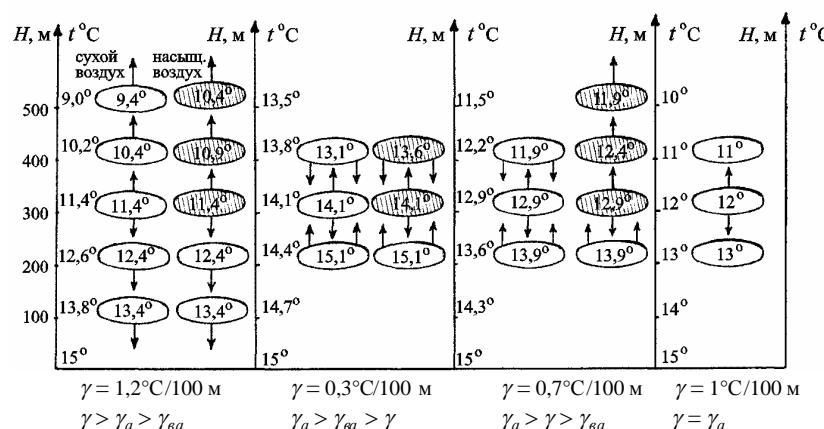


Рис. 5.15. Зависимость развития вертикальных движений воздуха от величины вертикального температурного градиента

Сухоадиабатический градиент будем считать равным 1°C на 100 м. Влажноадиабатический градиент для простоты рассуждений возьмем равным средней его величине, т.е. $0,5^{\circ}\text{C}$ на 100 м.

1. $\gamma > \gamma_a > \gamma_{ea}$. Пусть вертикальный температурный градиент в окружающем воздухе больше сухоадиабатического, а следовательно, больше влажноадиабатического и составляет $1,2^{\circ}\text{C}$ на 100 м ($\gamma = 1,2^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$).

Выделим мысленно два объема воздуха – сухой и насыщенный на высоте 300 м. Допустим, что в начальный момент температура в этих объемах равна температуре окружающего воздуха, т.е. $11,4^{\circ}\text{C}$. Предположим, что оба объема по каким-либо причинам начали подниматься. Объем сухого воздуха с подъемом будет адиабатически охлаждаться на 1°C на каждые 100 м. На высоте 400 м его температура станет $10,4^{\circ}\text{C}$, на высоте 500 м – $9,4^{\circ}\text{C}$ и т.д. Во всех случаях поднимающийся объем сухого воздуха будет теплее окружающего, что явится причиной его дальнейшего движения вверх.

Если же этот объем сухого воздуха по каким-либо причинам начнет опускаться вниз, то он будет нагреваться на 1°C на каждые 100 м. На высоте 200 м его температура станет $12,4^{\circ}\text{C}$, на высоте 100 м – $13,4^{\circ}\text{C}$ и т.д. Температура опускающегося воздушного объема окажется ниже температуры окружающего воздуха. По этой причине опускание сухого воздуха будет продолжаться.

Аналогичная картина наблюдается при подъеме и опускании объема воздуха, насыщенного водяными парами. При поднятии он будет охлаждаться только на $0,5^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м и, следовательно, будет еще более теплым по отношению к окружающему воздуху, поэтому его подъем будет более энергичным. При опускании вниз насыщенный объем воздуха будет нагреваться по сухоадиабатическому закону, т.е. на 1°C на 100 м, и, следовательно, продолжать опускаться как сухой воздух.

Таким образом, в этом случае, когда вертикальный температурный градиент воздуха больше сухоадиабатического и влажноадиабатического ($\gamma > \gamma_a$ и $\gamma > \gamma_{ea}$), выведенная из состояния равновесия сухая и насыщенная воздушные массы становятся неустойчивыми, т.е. и в том, и в другом воздухе

будут развиваться восходящие и нисходящие движения. Такое состояние называется ***неустойчивым равновесием воздуха***. Обычно это бывает в теплое время года, когда холодный воздух натекает на теплую подстилающую поверхность. Признаком неустойчивого равновесия в атмосфере является образование облаков вертикального развития: кучевых, мощно-кучевых и кучево-дождевых. В атмосфере возникает интенсивная турбулентность, вызывающая болтанку воздушных судов.

2. $\gamma < \gamma_{\text{в}} < \gamma_{\alpha}$. Пусть вертикальный температурный градиент в окружающем воздухе меньше влажноадиабатического, а, следовательно, меньше сухоадиабатического и равняется $0,3^{\circ}\text{C}$ на 100 м ($\gamma = 0,3^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$).

Если в этом случае мы выделим два объема воздуха – сухой и насыщенный на высоте 300 м с температурой, равной температуре окружающего воздуха (в нашем случае $14,1^{\circ}\text{C}$), и сообщим этим объемам движение вверх и вниз, то увидим, что при подъеме они окажутся холоднее окружающего воздуха, а при опускании – теплее. И в первом и во втором случаях оба объема будут стремиться возвратиться в первоначальное положение, т.е. сохранить устойчивость. В этом случае выведенные из состояния равновесия сухая и насыщенная воздушные массы будут возвращаться в прежнее устойчивое состояние, т.е. возникшие вертикальные движения будут быстро затухать. Такое состояние называется ***устойчивым равновесием*** воздуха. В слоях инверсии ($\gamma < 0^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) и изотермии ($\gamma = 0^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) всегда $\gamma < \gamma_{\text{в}} < \gamma_{\alpha}$, поэтому они являются задерживающими слоями для восходящих потоков воздуха. Устойчивое равновесие обычно наблюдается в холодное время года, когда теплый воздух натекает на холодную подстилающую поверхность. В этом случае отсутствуют облака вертикального развития, в нижнем ярусе образуются слоистые и слоисто-кучевые облака, а в среднем ярусе – высоко-кучевые. Полет в слоях атмосферы с устойчивым равновесием спокоен.

3. $\gamma_{\alpha} > \gamma > \gamma_{\text{в}}$. В этом случае, когда вертикальный температурный градиент в окружающем воздухе меньше сухоадиабатического, но больше влажноадиабатического ($\gamma < \gamma_{\alpha}$, и в то же время $\gamma > \gamma_{\text{в}}$), например, равняется $0,7^{\circ}\text{C}$ на 100 м , то в сухом воздухе вертикальные движения не образуются, а в

насыщенном воздухе развиваются только восходящие потоки, т.е. в случае подъема и опускания сухого воздуха, а также при опускании насыщенного воздуха наблюдается устойчивое равновесие. В случае же вынужденного подъема насыщенного воздуха будет неустойчивое равновесие. Такое состояние воздуха, когда он остается устойчивым, будучи сухим, и становится неустойчивым, как только насыщается водяными парами, называется ***влажноустойчивым равновесием***.

4. $\gamma = \gamma_{\alpha}$ или $\gamma = \gamma_{\text{в}}$. В этом случае, когда вертикальный температурный градиент окружающего воздуха равен сухоадиабатическому или влажноадиабатическому, некоторый объем воздуха, поднятый или опущенный под действием внешних сил на какую-либо высоту, здесь же и останется, так как температура в поднимающемся или опускающемся объеме воздуха будет равна температуре окружающей среды. Такое состояние атмосферы называется ***безразличным равновесием***. Безразличное равновесие обычно наблюдается в воздушных массах, которые малоподвижны и длительное время находятся в одном и том же районе.

Анализ рассмотренных характерных случаев позволяет сделать следующие выводы:

1. В насыщенном воздухе восходящие потоки возникают легче, чем в сухом (ненасыщенном), т.е. насыщенный воздух всегда более неустойчив при той же величине вертикального температурного градиента.
2. Чем выше температура воздуха, тем легче в этом воздухе возникают восходящие потоки.
3. При неустойчивом состоянии атмосферы вертикальные движения интенсивно развиваются и скорости восходящих потоков с высотой увеличиваются, так как с высотой увеличивается контраст между температурой поднимающегося воздуха и температурой окружающей среды.
4. При устойчивом состоянии атмосферы восходящие движения обычно не наблюдаются, а если они по каким-либо причинам и возникли, то быстро затухают.
5. Слои инверсии, изотермии, а также слои с небольшими вертикальными градиентами температуры ($\gamma < \gamma_{\alpha}$, т.е. $\gamma < 0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) препятствуют развитию вертикальных движений воздуха и являются задерживающими слоями.

5.5. АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА, ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТОВ

В метеорологических подразделениях наряду с различными метеорологическими картами погоды по данным аэрометрических наблюдений составляются специальные графики, получившие название аэрометрических диаграмм (АД). Эти графики дают возможность сравнительно быстро и наглядно проанализировать метеорологические условия на различных высотах, определить положение облачных слоев и другие явления, а также составить прогнозы возникновения гроз, ливней, обледенения и болтанки.

Бланки АД, примен器ющиеся в настоящее время, построены в косоугольной (АДК) или прямоугольной (АДП) системе координат. При этом один из бланков АДК применяется в холодное время года (АДКХ), а другой – в теплое время года (АДКТ). На бланках АД нанесены следующие линии:

1. Изобары – коричневые горизонтальные линии, проведенные через 10 гПа (у левых и правых их концов в виде дополнительных шкал – через 5 гПа). На АДК изобары проведены для интервала давления от 1050 до 100 гПа, на АДП – от 1050 до 10 гПа. Обозначения даны у левых и правых концов изобар и вблизи кривой СА-81.
2. Изотермы – на АДП коричневые вертикальные линии, на АДК коричневые линии, наклоненные вправо. Проведены через 1°C. На уровне 1000 гПа интервал температуры на АДКТ от -25°C до +40°C, на АДКХ от -55°C до +10°C, на АДП от -80°C до +40°C. Изотермы подписаны через 10°C у их нижних и верхних концов, а также вблизи изобары 450 гПа на АДК и 200 гПа на АДП.
3. Сухие адиабаты – коричневые линии, наклоненные влево. Они характеризуют изменение температуры в поднимающемся сухом воздухе.
4. Влажные адиабаты – зеленые штриховые линии, характеризующие изменение температуры в поднимающемся влажном воздухе.

5. Изограммы – зеленые непрерывные, почти прямые линии, наклоненные на АДП влево, на АДК – вправо. Это линии равных значений массовой доли водяного пара (удельной влажности), характеризующие предельное насыщение воздуха водяным паром при данной температуре (в граммах на килограмм).
6. Кривая изменения температуры воздуха с высотой в стандартной атмосфере – коричневая ломаная линия. Кривая СА-81 нанесена на АДКТ и АДП.
7. Шкала стандартных барометрических высот дана слева на оси ординат.
8. Шкала энергии неустойчивости дана справа на оси ординат. Цифры у делений этой шкалы указывают величину энергии в Дж/см² при подъеме массы воздуха в 1 кг на соответствующую высоту.
9. Шкала поправок на виртуальную температуру нанесена в виде точек зеленого цвета на трех уровнях: 900, 720 и 520 гПа. Числа у делений шкалы указывают величины поправок для насыщенного воздуха с температурами, соответствующими изотермам, проходящим через эти точки.

По данным радиозондирования атмосферы на бланках АД строят: кривую стратификации, кривую точек росы и кривую состояния.

Кривая стратификации – кривая фактического распределения температуры воздуха по высотам. Ее построение производится следующим образом: на горизонтальной оси находят значение температуры, соответствующее начальному уровню подъема, а на вертикальной оси – значение давления для этого же уровня, на пересечении соответствующих изотермы и изобары ставят точку. Около нее проставляют значение высоты (км или м), остальные точки подъема строят аналогично. После нанесения всех точек их соединяют сплошной красной линией (рис. 5.17).

Кривая точек росы (депеграмма) характеризует распределение точек росы (т.е. влажности) по высотам. Она проводится черным пунктиром, строится таким же образом, как и кривая стратификации (рис. 5.17). Депеграмма всегда располагается левее кривой стратификации.

Кривая состояния характеризует изменение температуры в поднимающемся воздухе. Она проводится черной линией. Построение кривой состояния начинается с определения уровня конденсации (рис. 5.16). Для этого на изобаре, соответствующей давлению воздуха у земли P_0 , откладываются наблюдаемые значения температуры воздуха у земли t_0 (точка A) и точки росы t_d (точка B). От точки A поднимаемся вверх по сухой адиабате (или параллельно ей, если адиабата не проходит через точку A) до встречи с изограммой, проходящей через точку B. Место пересечения адиабаты с изограммой (точка K) и является уровнем конденсации h_k .

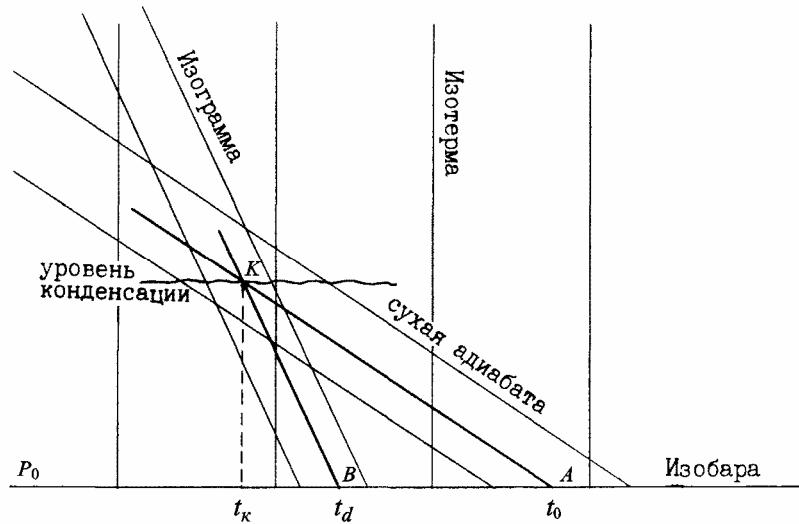


Рис. 5.16. Определение высоты уровня конденсации
(AK – сухая адиабата, BK – изограмма)

Кривая состояния дает представление об изменении температуры при адиабатическом подъеме воздуха. Это изменение до момента насыщения происходит по сухой адиабате, а затем по влажной. Поэтому до уровня конденсации кривая состояния совпадает с сухой адиабатой, а выше уровня конденсации – с влажной адиабатой (рис. 5.17).

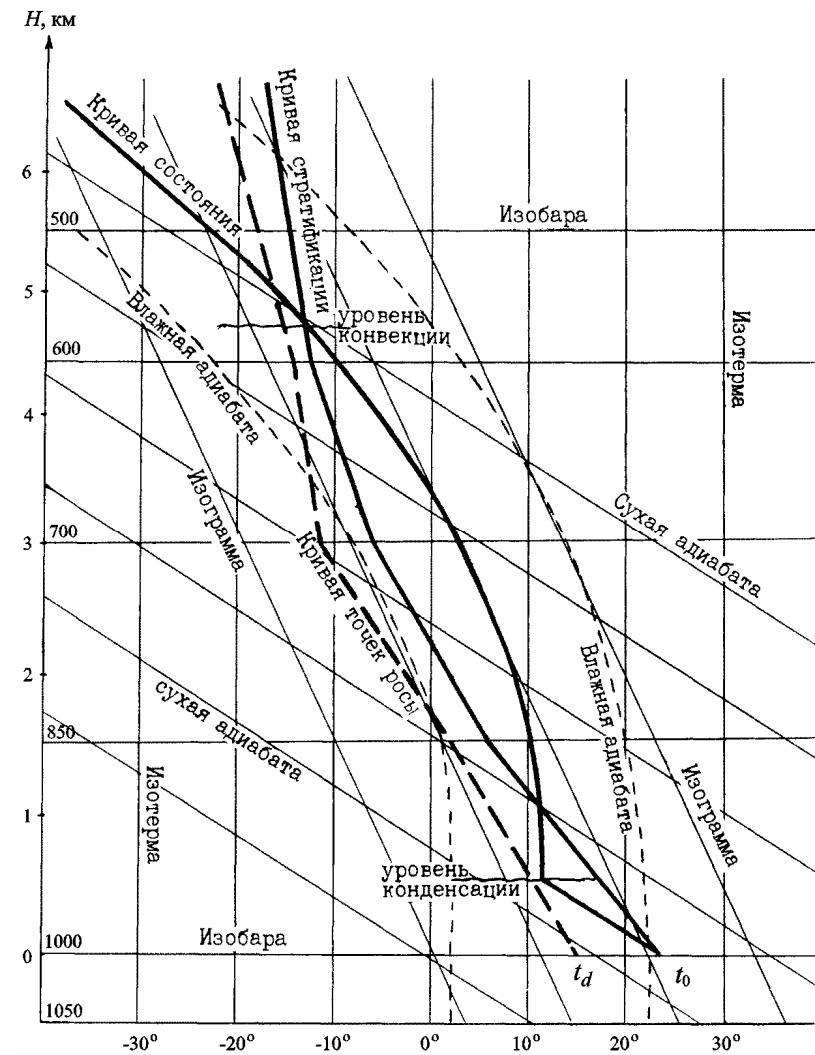


Рис. 5.17. Построение кривых стратификации, точек росы и состояния

При наличии радиационной инверсии или изотермии построение кривой состояния следует начинать от верхнего уровня этого слоя.

Выделение площади положительной и отрицательной энергии неустойчивости. Энергия неустойчивости – это потенциальная энергия атмосферы, определяемая распределением температуры воздуха с высотой. От ее наличия и величины зависит характер вертикальной устойчивости атмосферы. Энергия неустойчивости положительна, если воздух может самостоятельно подниматься вверх (неустойчивое равновесие). Энергия неустойчивости отрицательна, если воздух поднимается вверх только при получении энергии извне (устойчивое равновесие). Положительная энергия неустойчивости переходит в кинетическую энергию вертикальных движений воздуха. По ее величине судят о возможности возникновения ливней, гроз и града.

Равновесное состояние атмосферы можно определить с помощью аэрологической диаграммы, на которой строят кривую стратификации и кривую состояния. Если кривая состояния располагается правее кривой стратификации – энергия неустойчивости положительна и состояние атмосферы неустойчивое. Если кривая состояния располагается левее кривой стратификации – энергия неустойчивости отрицательна и состояние атмосферы устойчивое (рис. 5.18).

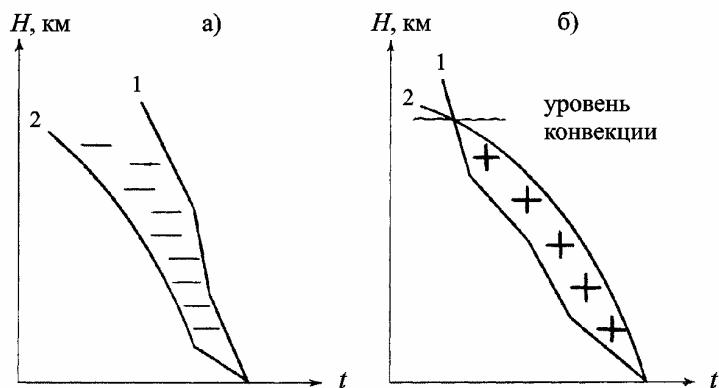


Рис. 5.18. Устойчивое (а) и неустойчивое (б) равновесие воздуха:
1 – кривая стратификации;
2 – кривая состояния

На аэрологической диаграмме площадь между кривой состояния и кривой стратификации в случае положительной энергии неустойчивости закрашивается красным цветом, при отрицательной – синим цветом. Чем больше эта площадь, тем больше неустойчивость или устойчивость атмосферы. Если в нижнем слое атмосферы имеется неустойчивое состояние, а выше устойчивое, вертикальные движения воздуха будут развиваться лишь в нижнем неустойчивом слое.

Определение уровня конвекции. Как известно, уровнем конвекции называется высота, до которой может распространяться восходящий воздушный поток. За этот уровень на АД принимается точка пересечения кривых стратификации и состояния (рис. 5.17).

Анализ и прогноз условий развития конвективной облачности, ливней, гроз, болтанки. Известно, что мощно-кучевые и кучево-дождевые облака создают наиболее опасные условия для полетов. Если воздушная масса от исходного уровня и до больших высот стратифицирована неустойчиво (энергия неустойчивости положительна), то следует ожидать развития кучево-дождевых или грозовых облаков. При этом необходимо, чтобы вершина располагалась выше изотермы – 25°C. Нижнее основание этих облаков располагается вблизи уровня конденсации, верхняя граница – на высоте уровня конвекции. Чем выше уровень конвекции, тем мощнее по вертикали облачность и тем вероятнее развитие кучево-дождевых (грозовых) облаков, с которыми связаны грозы, ливневые осадки, болтанка и обледенение воздушных судов. Если же энергия неустойчивости отрицательная и занимает большую площадь, то развития кучево-дождевой облачности ожидать не следует.

Для развития облачности большое значение имеет влагосодержание воздуха, о котором можно судить по взаимному расположению кривых точек росы и стратификации. Чем ближе они друг к другу, тем разность между температурой воздуха и точкой росы, т.е. дефицит точки росы, меньше и образование облаков более вероятно; чем дальше друг от друга, тем воздух суще и меньше вероятность образования облаков. Для нижней половины тропосфера (до 5 км) при наличии облаков дефицит точки росы не превышает 2°C, а в верхней половине тропосфера дефицит точки росы может быть 3...4°C.

Оценка возможного обледенения воздушных судов. Для этого необходимо проанализировать температуру воздуха в облаках и осадках, учитывая следующие положения:

- сильное обледенение наблюдается при температурах $0^{\circ}\text{C}...-10^{\circ}\text{C}$;
- умеренное обледенение наблюдается при температурах $-11^{\circ}\text{C}...-20^{\circ}\text{C}$;
- слабое обледенение наблюдается при температуре $-21^{\circ}\text{C}...-30^{\circ}\text{C}$.

Определение слоев инверсии и изотермии. Эти слои определяются по наклону кривой стратификации. Если наблюдается рост температуры с высотой (кривая стратификации пересекает изотермы слева направо), то отмечается слой инверсии ($\gamma < 0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$). Если же температура воздуха с высотой не изменяется (кривая стратификации параллельна изотермам), то отмечается слой изотермии ($\gamma = 0^{\circ}\text{C}/100 \text{ м}$). Слои инверсии и изотермии являются задерживающими слоями. Они гасят вертикальные движения воздуха и препятствуют переносу различных жидких и твердых частиц, имеющихся в атмосфере (облачных элементов, пыли, ядер конденсации и т.д.), в более высокие слои.

Определение положения тропопаузы, ее высоты, температуры и давления. Тропопауза определяется по наклону кривой стратификации. Она находится на высотах, где отмечается самая низкая температура воздуха. Значения температуры, давления и высоты отсчитываются соотвествующими изотермами и изобарами.

Построение вспомогательной номограммы для расчета изменений потолка или предельно допустимой высоты полета самолета за счет отклонения температуры от СА. Расчетная формула изменения потолка или предельно допустимой высоты полета самолета рассмотрена в главе 3 и имеет вид

$$\Delta H_{\text{пд}} = -K(T - T_{\text{ст}}) = -K\Delta T, \quad (3.25)$$

где: K – эмпирический коэффициент (для большинства самолетов равный $50 \text{ м}/1^{\circ}\text{C}$), показывающий на сколько метров изменится предельно допустимая высота полета самолета при изменении температуры воздуха на 1°C .

T и $T_{\text{ст}}$ – фактическая и стандартная температура воздуха.

Предельно допустимая высота $H_{\text{пд}}$ для каждого типа самолета при различных полетных весах $G_{\text{пол}}$ в условиях СА указывается в руководствах по летной эксплуатации (табл. 5.2).

Наряду с аналитическим путем в практической работе оценка изменения предельно допустимой высоты может быть проведена графически по кривой стратификации атмосферы на АД. Для этих целей на бланке АД необходимо построить вспомогательную номограмму. Построение номограммы производится следующим образом (рис. 5.19):

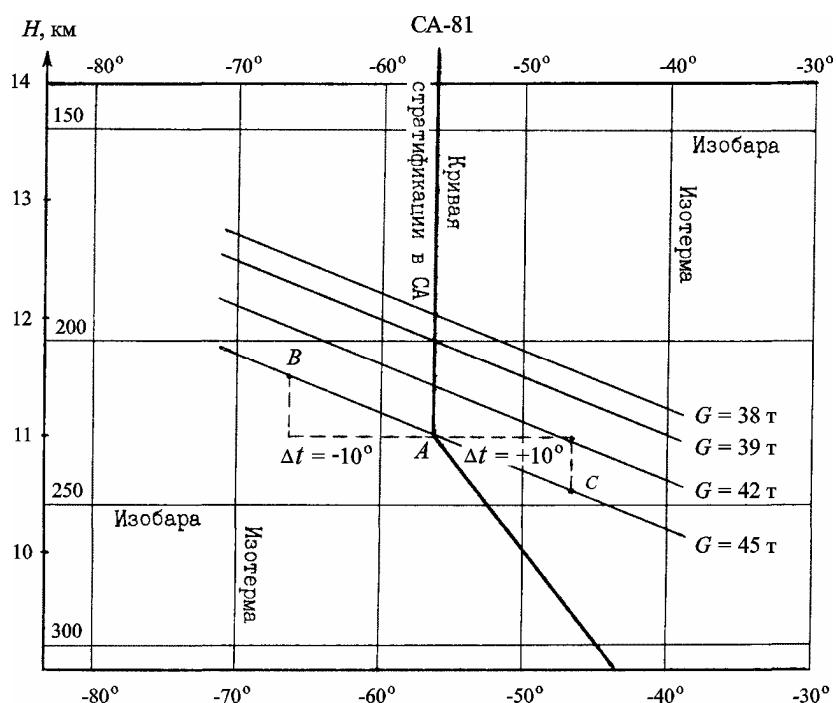


Рис. 5.19. Номограмма для расчета предельно допустимой высоты полета

- на линии распределения температуры в СА на АД ставят точку (A), соответствующую $H_{\text{пд}}$ в условиях СА для одного из полетных весов;

- б) задавая произвольное значение Δt , например, $\Delta t \pm 10^\circ\text{C}$, определяют соответствующие значения H_{np} и по ним находят еще две точки (B, C);
 в) по полученным трем точкам (A, B, C) проводят прямую, которая отражает изменение H_{np} , в зависимости от температуры для заданного полетного веса;
 г) параллельно построенной линии проводят прямые для других полетных весов через точки H_{np} в СА.

Номограмма позволяет рассчитать H_{np} по любым кривым стратификации, построенным на АД по данным радиозондирования атмосферы.

Таблица 5.2. Зависимость предельно допустимой высоты полета самолета от полетного веса

Ил-62

G_{pol} , т	160	140	120	110	95
H_{np} , м	10000	10650	11300	12000	12200

Ту-154

G_{pol} , т	86	80	75	70
H_{np} , м	11000	11400	11700	12000

Ту-134

G_{pol} , т	45	42	39	38
H_{np} , м	11000	11400	11700	12000

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

- Что называется конвекцией?
- Какие процессы приводят к образованию конвекции?
- Какие скорости вертикальных потоков наблюдаются при конвекции?
- До каких высот развиваются конвективные токи воздуха?
- Что называется восходящим скольжением?

- За счет чего образуется восходящее скольжение?
- Какие скорости вертикальных движений наблюдаются при восходящем скольжении?
- Что называется динамической турбулентностью?
- До каких высот наблюдается динамическая турбулентность?
- За счет чего возникают волновые движения?
- Что называется адиабатическим процессом?
- Каким образом изменяется температура с высотой в поднимающемся (опускающемся) сухом (насыщенном) воздухе?
- Что называется сухоадиабатическим (влажноадиабатическим) градиентом и чему он равен?
- Что называется сухой (влажной) адиабатой?
- Почему влажноадиабатический градиент меньше, чем сухоадиабатический?
- Что называется уровнем конвекции (конденсации), от каких факторов и как зависит его высота?
- Что называется кривой состояния?
- Каким образом изменяется температура воздуха у земной поверхности при изменении давления на 1 гПа?
- Объяснить зависимость величины влажноадиабатического градиента от температуры и давления.
- Каким образом зависят условия образования облаков от взаимного расположения уровней конвекции и конденсации?
- Дать характеристику неустойчивого (устойчивого, безразличного) состояния атмосферы.
- Какое влияние на восходящие движения оказывают слои инверсии и изотермии?
- Какие виды АД используются в настоящее время?
- Какие изолинии нанесены на бланк АД?
- Как определяется высота уровня конденсации (конвекции) на АД?
- В чем заключается анализ и прогноз конвективной облачности?
- Как определить энергию неустойчивости на АД?
- Как определить высоту верхней и нижней границ облачности?
- Как определить предельно допустимую высоту полета самолета в зависимости от изменения температуры воздуха?

ГЛАВА 6. ОБЛАКА, ОСАДКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЛЕТЫ

6.1. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОБЛАКОВ, ИХ МИКРОСТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ

Облака – это видимое скопление капель воды и/или кристаллов льда (продуктов конденсации и/или сублимации водяного пара), находящихся в воздухе во взвешенном состоянии на некоторой высоте над поверхностью земли.

Облака являются важнейшим элементом погоды. Они возникают в результате сложных термодинамических процессов, приводящих водяной пар к конденсации и сублимации, и являются видимым отображением этих процессов. По внешнему виду облаков, их форме, высоте нижнего основания, вертикальной и горизонтальной протяженности можно косвенно судить о причинах, приведших к облакообразованию, а следовательно, и об условиях полетов в них.

По направлению и скорости перемещения облаков можно составить представление о направлении и скорости движения воздуха на соответствующих высотах. Вместе с тем, облака это не только показатель текущей погоды, но и определенный предвестник ее изменения. Поэтому в ряде случаев они являются местными признаками будущей погоды.

Облака вертикального развития и связанные с ними такие метеорологические явления, как грозы, ливни, град и т.п. значительно осложняют полеты, а в ряде случаев совсем исключают их возможность. Низкие слоистообразные и волнистообразные облака также значительно затрудняют полеты самолетов и вертолетов, требуют введения определенных ограничений по метеоусловиям, так называемых метеорологических минимумов.

В целом облака влияют на все этапы полета. Взлет, посадка, полет на эшелоне самолетов и вертолетов проводится при обязательной оценке состояния облачности (ее наличие или ожидаемое возникновение) и ее возможного влияния на полеты.

При входе в облака пилот лишается зрительных восприятий земли, небесных светил, естественного горизонта и может быстро потерять представление о положении воздушного судна

в пространстве. Полеты в облаках приходится выполнять по приборам. При полете в облаках экипаж может встретиться с сильной болтанкой и интенсивным обледенением. Иногда в облаках наблюдается сильная электризация воздушного судна с нарушением радиосвязи, что также усложняет выполнение полета.

Особенно существенное влияние оказывают облака и связанные с ними метеоявления на посадку воздушных судов. При посадке в сложных метеорологических условиях экипаж чрезвычайно загружен. Командир современного транспортного воздушного судна на предпосадочном снижении переносит взгляд на авиационно-пилотажные приборы от 100 до 200 раз в минуту. На каждом приборе он фиксирует взгляд до 0,66 секунды. Низкие облака и плохая видимость являются серьезной помехой для правильных действий экипажа, увеличивают возможность ошибок, иногда очень существенных. Одним из условий безопасной посадки в таких ситуациях является хорошее знание облаков и объективная информация об их состоянии и изменениях.

Для образования облаков необходимы следующие условия: достаточная влажность воздуха, восходящие движения и ядра конденсации (гигроскопические частицы пыли, дыма, гари и т.д.).

Главной причиной образования облаков является адиабатическое понижение температуры в поднимающемся влажном воздухе, приводящее к конденсации водяного пара. В зависимости от вида восходящего движения, в результате конденсации и сублимации водяного пара, образуются облака различных форм с различными физическими характеристиками (микроструктурой, водностью).

Под **микроструктурой** облаков понимают их внутреннее физическое строение: фазовое состояние облачных элементов, их размеры, число облачных частичек в единице объема.

По микроструктуре облака подразделяются на:

а) капельно-жидкие – наблюдаются при температуре до -10°C , состоят из капель воды разного диаметра, радиус капель 4...25 мкм (микрон = 10^{-6} м). В 1 см³ облака содержится 100...600 капель. Из капельно-жидких облаков, как правило, выпадают слабые моросящие осадки;

б) смешанные – наблюдаются при температуре -10°...- 40°C, состоят из смеси капель воды и кристаллов льда. Из этих облаков выпадают все основные виды осадков;

в) кристаллические – наблюдаются при температуре ниже - 40°C, состоят из кристаллов льда и снежинок. Ледяные кристаллы в облаках также имеют разную форму и размеры. При низких температурах они имеют вид шестиугольных пластинок или шестигранных призм размером 10...12 мкм. Причиной этого является структура молекул воды, состоящей из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Она представляет собой равносторонний треугольник. Во время кристаллизации каждый вновь появившийся кристалл образует с вершиной треугольника угол, равный 60°. В процессе роста таких молекулярных треугольников образуется шестиугольник. При дальнейшей сублимации и росте кристаллов образуются шестиугольные звездочки-снежники или кристаллы другой сложной формы. Из кристаллических облаков осадки не выпадают.

Масса капель воды и кристаллов льда, содержащихся в 1 м³ облака, называется его **водностью**. Водность облаков колеблется от 0,01 до 10 г/м³. В капельно-жидких облаках водность колеблется от десятых долей грамма до нескольких граммов в 1 м³, в кристаллических облаках водность незначительна и составляет сотые и тысячные доли грамма в 1 м³.

Микроструктура и водность облаков имеют существенное значение для оценки условий обледенения воздушных судов. При большой водности и отрицательных температурах в облаках наблюдается интенсивное обледенение воздушных судов.

В зависимости от высоты расположения нижней границы и внешнего вида все облака подразделяются на четыре группы – **морфологическая классификация**:

I. Облака верхнего яруса – нижняя граница более 6 км:

- перистые, *Cirrus* (*Ci*) –
- перисто-слоистые, *Cirrostratus* (*Cs*) –
- перисто-кучевые, *Cirrocumulus* (*Cc*) –

II. Облака среднего яруса – нижняя граница от 2 до 6 км:

- высоко-слоистые, *Altocstratus* (*As*) –
- (тонкие);

- высоко-кучевые, *Altocumulus* (*Ac*) –
- (распространяющиеся по небу),
- (плотные),
- (чечевицеобразные),

III. Облака нижнего яруса – нижняя граница ниже 2 км:

- слоисто-дождевые, *Nimbostratus* (*Ns*) –
- разорванно-дождевые, *Fractonimbus* (*Fr nb*) –
- слоисто-кучевые, *Stratocumulus* (*Sc*) –
- слоистые, *Stratus* (*St*) –
- разорванно-слоистые, *Fractostratus* (*Fr st*) –

IV. Облака вертикального развития – нижняя граница ниже 2 км, верхняя граница – в среднем или верхнем ярусе:

- кучевые, *Cumulus* (*Cu*) –
- мощно-кучевые, *Cumulus congestus* (*Cu cong*) –
- кучево-дождевые, *Cumulonimbus* (*Cb*) –
- (лысые),
- (с наковалней).

По условиям образования – генетическая классификация – облака подразделяются на три группы:

1. Кучевообразные

Причиной их образования являются различные виды конвекции. К этой группе относятся следующие формы облаков:

- кучевые, *Cumulus* (*Cu*) –
- мощно-кучевые, *Cumulus congestus* (*Cu cong*) –
- кучево-дождевые, *Cumulonimbus* (*Cb*) –
- высоко-кучевые башенкообразные или хлопьевидные, *Altocumulus* (*Ac*) –
- перисто-кучевые, *Cirrocumulus* (*Cc*) –

2. Слоистообразные

Причиной их образования является восходящее скольжение. К ним относятся следующие формы облаков:

- слоисто-дождевые, *Nimbostratus* (*Ns*) –
- разорванно-дождевые, *Fractonimbus* (*Fr nb, Fb*) –
- высоко-слоистые, *Altocstratus* (*As*) –
- перисто-слоистые, *Cirrostratus* (*Cs*) –
- перистые, *Cirrus* (*Ci*) –

3. Волнистообразные

Образуются за счет динамической турбулентности, волновых движений слоев инверсии и изотермии, радиационного выхолаживания подстилающей поверхности. К этой группе относятся следующие формы облаков:

- слоистые, *Stratus* (*St*) – —;
- разорванно-слоистые, *Fractostratus* (*Fr st, Fs*) – ---;
- слоисто-кучевые, *Stratocumulus* (*Sc*) – ~;
- высоко-кучевые, *Altocumulus* (*Ac*) – ω, ϖ, ⚡, ⚡;
- перисто-кучевые, *Cirrocumulus* (*Cc*) – ς.

6.2. ХАРАКТЕРИСТИКА КУЧЕВООБРАЗНЫХ, СЛОИСТООБРАЗНЫХ И ВОЛНИСТООБРАЗНЫХ ОБЛАКОВ

6.2.1. КУЧЕВООБРАЗНЫЕ ОБЛАКА

По внешнему виду эти облака представляют собой отдельные облачные массы, сильно развитые по вертикали и занимающие сравнительно небольшие площади по горизонтали (рис. 6.1).

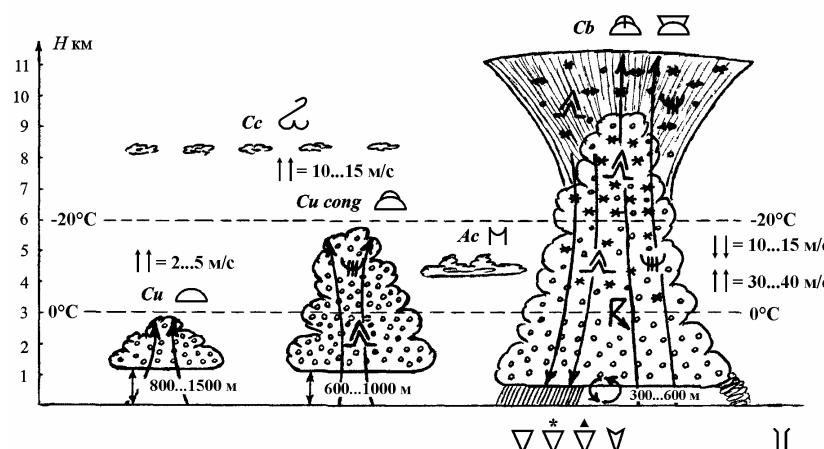


Рис. 6.1. Кучевообразные облака

Кучевые облака – это небольшие облачные массы белого цвета, разбросанные по небу в виде куч. Нижнее основание облаков плоское на высоте 800...1500 м, вершина – выпуклая на высоте 2...3 км. Состоит из капель воды, осадков не дают. Над континентом кучевые облака образуются преимущественно в теплое время года. Обычно они появляются в 10...12 часов, в 14...15 – достигают максимального развития и к вечеру размываются. Малоразвитые по вертикали, плоские кучевые облака называются “облаками хорошей погоды”. Полет под облаками и в облаках сопровождается слабой болтанкой, т.к. скорость восходящих потоков незначительная (2...5 м/с). Облака располагаются ниже нулевой изотермы, поэтому обледенение в них не наблюдается.

Мощно-кучевые облака – образуются из кучевых облаков. При большой влажности воздуха ($\alpha > 10 \text{ г}/\text{м}^3$) и благоприятных условиях для развития конвекции кучевые облака развиваются по вертикали, переходят через нулевую изотерму и становятся мощно-кучевыми. Нижнее основание облаков плоское, слегка сероватое или синеватое на высоте 600...1000 м, вершина – куполообразная, белого цвета на высоте 4...6 км. Мощно-кучевые облака могут располагаться в виде отдельных редких облаков или в виде значительного скопления, закрывающего почти все небо. Облака капельно-жидкие, но выше изотермы 0°C капли воды находятся в переохлажденном состоянии. Осадки из мощно-кучевых облаков в средних широтах не выпадают. В облаках преобладают восходящие потоки, скорость которых достигает 10...15 м/с. Полеты внутри мощно-кучевых облаков запрещены руководящими документами из-за сильной болтанки по всему облаку и интенсивного обледенения выше нулевой изотермы.

Кучево-дождевые облака – огромные горообразные облачные массы с темными основаниями и ярко-белыми вершинами, которые, как правило, имеют волокнистое строение. По вертикали кучево-дождевые облака могут развиваться до тропопаузы, а иногда пробивают ее и вклиниваются в нижнюю стратосферу. Образуются из мощно-кучевых облаков при абсолютной влажности воздуха более 13 $\text{г}/\text{м}^3$. При благоприятных условиях для развития конвекции и большом влагосодержании воздуха мощно-кучевые облака продолжают расти вверх и

достигают вершинами высот, где температура воздуха настолько низкая, что в облаках начинают образовываться ледяные кристаллы. Таким образом, микроструктура кучево-дождевого облака смешанная – имеются как капли воды, так и кристаллы льда. Процесс перерастания мощно-кучевого облака в кучево-дождевое происходит очень быстро, иногда в течение 15...20 минут. Признаком такого перерастания может служить изменение формы мощно-кучевого облака. Пока развивающееся облако состоит только из капель воды, оно осадков не дает и имеет резко очерченные контуры. Вершина облака выглядит подобно головке цветной капусты. Как только верхняя часть облака приобретает кристаллическое строение, оно теряет свои резкие очертания, его края начинают лохматиться, а вершина принимает вид перевернутой метлы (наковальни). Ледяные кристаллы, находясь в соседстве с переохлажденными каплями воды, быстро увеличиваются и начинают выпадать из облака. С момента выпадения осадков облака становятся кучево-дождевыми. Из кучево-дождевых облаков выпадают ливневые осадки в виде дождя, снега, крупы, града. Скорость восходящих потоков в облаке может достигать 30...40 м/с; за счет ливневых осадков в кучево-дождевых облаках возникают нисходящие потоки со скоростью 10...15 м/с. Развитие кучево-дождевых облаков, и выпадение ливневых осадков часто сопровождается грозами , шквалами  и смерчами .

В зависимости от причин образования, кучево-дождевые облака бывают внутримассовыми и фронтальными.

Внутримассовые облака образуются над континентом летом, во вторую половину дня за счет неравномерного нагревания подстилающей поверхности. Нижняя граница облачности (НГО) 500...1000 м, верхняя граница облачности (ВГО) 7...9 км. По площади эти облака располагаются отдельными очагами на большом расстоянии друг от друга, поэтому в полете их можно обойти стороной.

Фронтальные облака образуются в любое время года и суток на холодных фронтах за счет вынужденной конвекции. НГО 300...600 м, в осадках 100...300 м; ВГО 10...12 км, зимой 4...6 км. Располагаются цепочкой вдоль линии фронта на сотни километров в длину и десятки километров в глубину фронта.

Полет внутри всякого *Cb* облака опасен и запрещается руководящими документами по следующим причинам:

- сильная болтанка  от НГО до ВГО;
- интенсивное обледенение  на всех высотах выше нулевой изотермы;
- возможен разряд молнии через ВС;
- ливневые осадки  ухудшают видимость на взлете и при заходе на посадку, а град может повредить отдельные части воздушного судна в полете;
- при полете в сильных ливневых осадках (видимость менее 1000 м) ухудшаются аэродинамические качества воздушного судна, что может привести к срыву потока;
- кучево-дождевые облака часто сопровождаются шквалами и смерчами.

Высоко-кучевые хлопьевидные или башенкообразные облака имеют вид крупных хлопьев, разделенных просветами голубого неба; или башенок, посаженных на одно общее основание. Образуются в теплое время года, как правило, в утренние часы, когда в средней тропосфере наблюдается неустойчивое равновесие воздуха. НГО составляет 4...6 км, толщина – 200...500 м. Непосредственно на полет влияния не оказывают, но являются хорошим признаком образования грозы в дневные часы. При этом, чем больше башенок или хлопьев, тем ближе по времени гроза.

Перисто-кучевые облака – белые тонкие облака, имеющие вид очень мелких волн, хлопьев, барабанов. Образуются на высоте выше 6 км, состоят из кристаллов льда, толщина облаков 200...300 м. На полет существенного влияния не оказывают.

6.2.2. СЛОИСТООБРАЗНЫЕ ОБЛАКА

Слоистообразные облака имеют вид сплошного облачного массива, но зачастую облака верхнего яруса отделены от слоисто-дождевых и высокослоистых безоблачными прослойками (рис. 6.2).

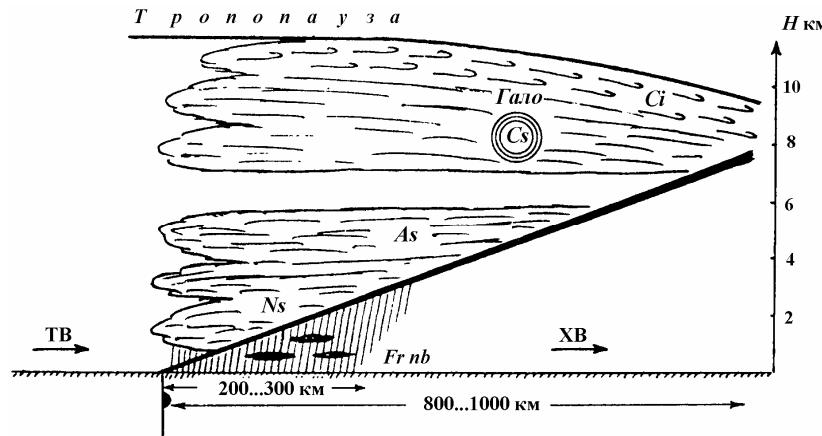


Рис. 6.2. Слоистообразные облака

Слоисто-дождевые облака имеют вид темно-серого облачного покрова, как правило, закрывающего все небо. Высота НГО 300...500 м и менее. Вертикальная мощность достигает нескольких километров. Это смешанные облака с водностью 0,6...1,3 г/м³. Из них выпадают обложные осадки – продолжительные, средней интенсивности, занимающие большие площади: 200...300 км по ширине и до тысячи километров по длине. Полет в таких облаках проходит спокойно, но выше нулевой изотермы в облаках, а зимой и в осадках, наблюдается обледенение воздушных судов, интенсивность которого зависит от водности облака и температуры воздуха. В осадках НГО бывает размытой и может располагаться на высоте 100 м и ниже, что затрудняет их пробивание при заходе на посадку. Во все сезоны года при полете в облаках могут возникать значительные электростатические заряды.

Разорванно-дождевые облака представляют собой бесформенные черные полосы на общем сером фоне слоистообразной облачности. Причиной их образования являются насыщение холодного воздуха обложными осадками, выпадающими из слоисто-дождевых облаков, и динамическая турбулентность, возникающая при движении холодного воздуха по неровностям подстилающей поверхности. Состоят из переохлажденных капель, иногда ледяных кристаллов.

НГО 50...100 м, толщина 100...200 м. Разорванно-дождевые облака затрудняют или исключают взлет, посадку и визуальные полеты воздушных судов.

Высоко-слоистые облака представляют собой однородную серую пелену толщиной 1...2 км, имеют большую горизонтальную протяженность. Солнце и Луна просвечивают через них, как сквозь матовое стекло. Это смешанные облака. Из них могут выпадать обложные осадки, которые до земли доходят только зимой в виде снега. Поэтому зимой ширина зоны осадков увеличивается до 400...500 км. При полетах в них наблюдается обледенение воздушных судов, интенсивность которого зависит от водности облака и температуры воздуха. Вероятность обледенения в этих облаках больше в теплое время года. Видимость в облаках плохая – несколько десятков метров. При длительном полете в них воздушные судна заряжаются статическим электричеством.

Перисто-слоистые облака имеют вид однородной белой или голубоватой пелены, закрывающей все небо. Толщина облаков от нескольких сотен метров до нескольких километров. Облака состоят из ледяных кристаллов. Солнце и Луна просвечивают через них, образуя белые или радужные круги – гало. Оно служит признаком последующего ухудшения погоды. При полетах в облаках происходит электризация воздушных судов. Видимость хорошая.

Перистые облака – отдельные белые волокнистые облака, обычно очень тонкие и прозрачные. Иногда перистые облака имеют вид параллельных полос с загнутыми кверху передними краями в виде крючков или коготков, поэтому они называются крючковидными или когтевидными. Облака кристаллические, осадки из них не выпадают. Толщина облаков от нескольких сотен метров до нескольких километров. Они располагаются впереди линии фронта на расстоянии 800...1000 км и являются предвестниками плохой погоды. Полет спокоен, видимость хорошая, но при длительном полете возможна электризация воздушных судов.

6.2.3. ВОЛНИСТООБРАЗНЫЕ ОБЛАКА

По внешнему виду волнистообразные облака представляют собой распространенный по горизонтали слой облаков в виде гряд или отдельных валов, вертикальное развитие которых характеризуется многослойностью (рис. 6.3).

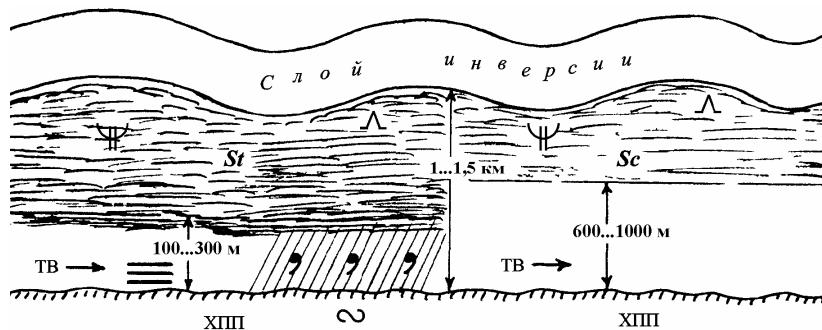


Рис. 6.3. Волнистообразные облака

Слоистые облака – однородный слой серого цвета, сходный с туманом, приподнятым над поверхностью земли. Характерны для холодного времени года. Они образуются под слоем инверсии и имеют вид сплошной серой пелены или разорванных облачных масс. Нижнее основание находится на высоте 100...300 м. Облака могут опускаться до земли и переходить в туман. Из них выпадают моросящие осадки. При температуре 0°...-5°C на земле образуется гололед. Полет в облаках и осадках сопровождается обледенением, интенсивность которого зависит от водности облака и температуры воздуха. Из-за малой высоты слоистые облака затрудняют или исключают взлет, посадку и визуальные полеты.

Слоисто-кучевые облака – серые облака, состоящие из крупных гряд (волн), пластин или хлопьев, разделенных просветами или сливающихся в сплошной серый волнистый покров. Высота НГО 600...1000 м, а зимой – 300...600 м. Толщина – несколько сотен метров. В холодное время из них могут выпадать осадки в виде слабого снега. В облаках можно встретить слабое или умеренное обледенение и слабую болтанку, которая усиливается к ВГО.

Высоко-кучевые и перисто-кучевые облака располагаются, соответственно, в среднем и верхнем ярусах, особого влияния на полеты не оказывают.

Алгоритм образования и обобщенная характеристика облаков представлены в Приложениях 1 и 2.

6.3. СТРУКТУРА НИЖНЕЙ И ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦ ОБЛАЧНОСТИ

Нижняя граница облаков в большинстве случаев не представляет собой четко выраженной поверхности. Ее высота подвержена значительным колебаниям, как во времени, так и в пространстве. Особенно это характерно для облаков, нижняя граница которых располагается на высотах ниже 300 м (чаще всего это подинверсионные St и Sc). Их основание представляет собой некоторый переходный слой, находящийся в непрерывном колебательном движении. Нижней границей этого слоя является высота, на которой пилот перестает отчетливо видеть горизонт (слой легкого затуманивания), а верхней – высота, с которой перестает быть видна земля (полная потеря вертикальной видимости под воздушным судном). Этот слой называется предоблачным слоем. Его толщина может быть менее 50 м у облаков, возникающих под слоем инверсии сжатия, и доходит до 200 м у подинверсионных облаков, образовавшихся под слоем адвективной инверсии.

Над возвышенностями, лесными массивами, в зонах осадков облака поникаются. Наблюдения показывают, что в одном и том же массиве в ряде случаев на расстоянии 500 м высота НГО может отличаться на 100...200 м, а над одним и тем же пунктом в течение 10 минут колебания высоты облачности могут достигнуть 50% от ее средней высоты.

Верхняя граница облаков в большинстве случаев связана с задерживающими слоями и резким уменьшением влажности. Нижняя граница задерживающих слоев, как правило, является и верхней границей облачности.

По внешнему виду верхней границы слоистых и слоисто-кучевых облаков можно судить о высоте их нижней границы:

- Если верхняя граница имеет ровную и слегка волнистую поверхность, то ее нижняя граница распространяется до земли или имеет небольшую высоту.
- Если верхняя граница облачности бугристая с отдельными выступающими вершинами, то ее нижняя граница лежит на высоте не менее 300 м от земной поверхности.
- Если при полете над облаками на облачной поверхности наблюдается тень воздушного судна, окруженная радужными кольцами (глория), то облака имеют небольшую толщину.

У облаков верхнего яруса верхняя граница в ряде случаев совпадает с нижней границей тропопаузы. Волновые колебания тропопаузы оказывают влияние на характер верхней границы облаков. Она становится волнистой или всхолмленной с выступающими "пучками" перистых облаков. Полет вдоль такой верхней границы облаков сопровождается болтанкой воздушных судов.

Верхняя граница определяется с помощью различных расчетных методов по данным температурного зондирования атмосферы и косвенными методами. Наиболее точные сведения о высоте верхней границы облаков можно получать путем самолетного зондирования атмосферы и ведения воздушной разведки погоды.

6.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНОСТИ НА АЭРОДРОМАХ

На аэродромах определяются следующие характеристики облаков: количество, форма и высота нижней границы.

Количество облаков или облачность – это степень закрытия небесного свода облаками. Количество облаков выражается в октантах. Один октант означает, что одна восьмая часть небосвода закрыта облаками. Восемь октантов – весь небосвод закрыт облаками. Для оценки метеорологических условий полетов на различных высотах важно знать как общее количество облаков, так и количество облаков нижнего яруса или облаков вертикального развития. Поэтому на аэродромах определяют раздельно общее количество облаков (общую облачность) и

количество облаков нижнего яруса или облаков вертикального развития. Количество облаков оценивается визуально.

Форма облаков также определяется визуально. Для определения формы облаков обычно используется "Атлас облаков", где помещены фотографии облачности. При определении формы облаков учитывают их внешний вид, высоту расположения, общее состояние погоды, характер выпадающих осадков и различные оптические явления, присущие тем или другим облакам.

Высота нижней границы облаков – это расстояние по вертикали от земной поверхности до нижнего основания облаков (измеряется в метрах). Высота НГО определяется с помощью приборов, принцип действия которых основан на шаропилотном, импульсно-светолокационном, лазерном и других методах. Кроме этого, на каждом аэродроме для измерения высоты НГО используются самолеты и вертолеты.

При помощи **шаров-пилотов** нижняя граница облаков может быть определена как в светлое, так и в темное время суток. Шар-пилот представляет собой небольшой резиновый шар, наполненный водородом. В свободном полете шар-пилот переносится в горизонтальном направлении и одновременно, под воздействием свободной подъемной силы, перемещается вверх. Свободная подъемная сила равна разности веса оболочки шара с водородом и веса вытесненного им воздуха. Скорость подъема шара зависит от свободной подъемной силы и размеров шара и может быть определена по специальным таблицам. Наблюдая в теодолит или бинокль за шаром-пилотом, выпущенным в свободный полет, определяют с помощью секундомера время от момента выпуска шара до его входа в облако (шар начинает туманиться). Высота НГО рассчитывается по формуле:

$$H_{NGO} = W t, \quad (6.1)$$

где: H – высота, м;

W – вертикальная скорость подъема шара-пилота, м/мин;
 t – время, мин.

При определении высоты НГО в темное время суток, когда шар не виден, к нему прикрепляют легкий источник света – специальный фонарик со свечой или маломощной лампочкой

накаливания с батарейкой. Этот метод определения высоты НГО достаточно прост и доступен. Его недостатки: значительная погрешность, длительная и трудоемкая подготовка к измерениям, ограниченность применения при облаках менее 4 октантов и направлениях ветра, при которых шар уносится от облаков (к просветам).

В светолокационных установках высота НГО определяется по времени t , за которое свет проходит путь от точки измерения до облака и обратно. Так как скорость света известна ($C \approx 3 \cdot 10^8$ м/с), то, измерив t , можно определить H по формуле:

$$H_{HGO} = \frac{Ct}{2} \quad (6.2)$$

Установки этого типа не требуют измерительной базы, так как посылка светового импульса и прием его после отражения от облака производится в одной точке. Измерения с помощью таких установок могут проводиться в любое время суток. Учитывая большую скорость света, такие установки обеспечивают измерение t с высокой точностью (до 10^{-7} с). При такой точности измерение высоты низкой облачности возможно с 30 м. Светолокационные установки позволяют получать высоту НГО непосредственно в метрах. Основными приборами для измерения высоты НГО в аэропортах являются: измеритель высоты нижней границы облаков (ИВО) и регистратор высоты нижней границы облаков (РВО).

ИВО – это дистанционный прибор, позволяющий измерять высоту НГО в любое время года и суток непосредственно над местом установки аппаратуры при отсутствии тумана и сильных осадков. При сильных осадках и тумане ИВО не может работать, так как туманы и осадки отражают и рассеивают посылаемые прибором импульсы света и они до облака не доходят. В таких метеоусловиях с помощью ИВО определяется вертикальная видимость. Светолокатор ИВО состоит из передатчика световых импульсов, приемника отраженных импульсов и пульта управления, соединенных между собой кабелями (рис. 6.4).

РВО предназначен для автоматического измерения и регистрации высоты НГО. РВО является усовершенствованным вариантом ИВО. Принцип работы тот же, но результат наблюдений записывается на специальную ленту. В РВО

имеется сигнализация (звуковая и световая), указывающая на появление низких облаков с НГО, равной установленному минимуму или ниже его для данного аэродрома.

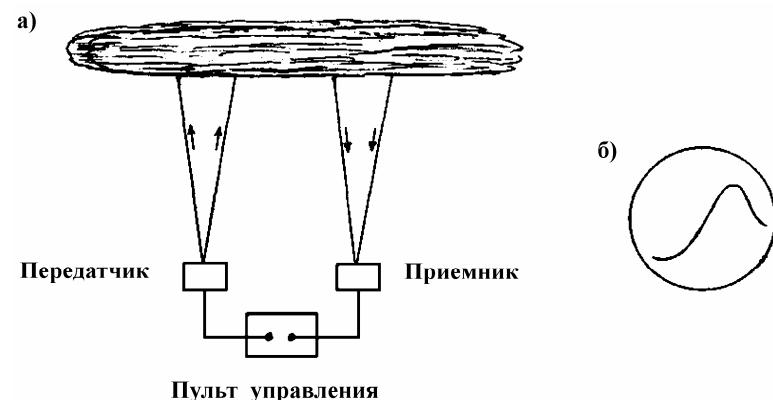


Рис. 6.4. Принцип действия светолокатора ИВО:
а) подача и получение сигнала;
б) изображение отраженного от облака сигнала на трубке отметчика

Важным преимуществом РВО является выносной пульт управления, который предназначен для управления установкой РВО, получения и регистрации данных измерений на расстоянии до 8000 м от нее. Выносной пульт управления содержит органы управления, самописец и другие элементы.

Лазерный измеритель высоты облаков (лидар) позволяет дистанционно определять высоту нижней границы облаков над местом установки прибора. Его можно применять в любое время суток, если нет умеренных и сильных осадков, тумана и густой дымки. Когда наблюдается несколько облачных слоев, он измеряет высоту нижней границы каждого слоя (не более трех).

Нижнее основание облаков не является резко очерченной ровной поверхностью, а представляет собой некоторое пространство с постепенным ухудшением видимости с высотой. Под плотной частью облака находится предоблачный слой, в котором можно видеть две части: слой от уровня конденсации до “видимой” части облака – слой дымки и слой от нижней

границы облака до наиболее плотной ее части – переходный слой. Определить высоту самого нижнего уровня облаков можно только с помощью самолета. Все остальные инструментальные методы (шар-пилот, светолокационные установки) дают завышенную высоту НГО (рис. 6.5).

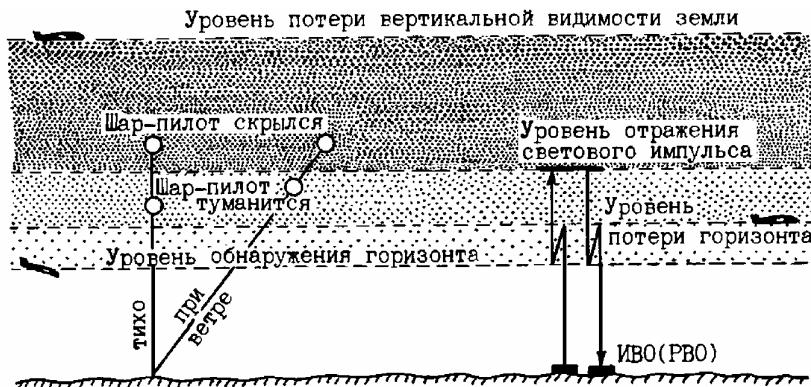


Рис. 6.5. Способы измерения высоты нижней границы облачности

Шар-пилот некоторое время, после входа в облако, еще виден и лишь затем начинает “туманиться”. Световые импульсы, посыпаемые приборами ИВО и РВО, также отражаются от более плотных слоев облачности, подоблачная дымка этими приборами не фиксируется.

При измерении высоты облаков с помощью самолета за высоту НГО принято считать уровень потери летчиком четкой видимости естественного горизонта при входе в облака и уровень обнаружения его при выходе под облака. При этом отсчет высоты должен производиться по барометрическому высотомеру. Следует учитывать, что в момент потери видимости горизонта наземные ориентиры еще просматриваются через подоблачную дымку (земля “туманится”). В случаях, когда горизонт размыт (закрыт дымкой или осадками), высота определяется по исчезновению видимости наиболее удаленных земных ориентиров. В этих случаях при выходе из облаков за высоту облачности принимается та высота, на которой летчик обнаруживает земные ориентиры в направлении полета.

Практика полетов показывает, что уровень потери естественного горизонта наиболее точно совпадает с высотой нижней границы облаков. Высота потери горизонта на взлете обычно больше высоты обнаружения при посадке. Это объясняется известным теоретическим положением о том, что дальность обнаружения объекта всегда меньше дальности потери его. По этой причине при заходе на посадку летчики сообщают высоту облачности несколько ниже, чем на взлете. Практика полетов показывает также, что с поршневых самолетов высота облаков определяется точнее, чем с борта реактивных самолетов, так как чем больше скорость полета, тем сложнее обнаружить горизонт при посадке и легче потерять его на взлете.

Точность измерений высоты нижней границы облаков, желательная для обеспечения полетов, представлена в таблице 12.1.

Определение различных параметров облачности и обнаружение опасных для авиации явлений погоды проводится также при помощи метеорологических радиолокаторов (МРЛ), работающих в миллиметровом и сантиметровом диапазонах, и метеорологических искусственных спутников Земли (МИСЗ).

С помощью **МРЛ** можно получить информацию в радиусе до 300 км от пункта наблюдения о местоположении очагов ливней и гроз; об облачных системах, их перемещении и развитии; высоте нижней и верхней границ облачности; о наличии безоблачных прослоек.

Информация об облачности, получаемая при помощи **МИСЗ**, обладает очень ценными качествами, такими как: глобальность, пространственная непрерывность, быстрота и синхронность получения данных с больших площадей, а также возможность непосредственной ее передачи в крупные метеоцентры и метеоподразделения. Информация об облачности представляется в виде фотомонтажей и карт нефанализса.

Фотомонтаж – первичный, наиболее информативный вид данных МИСЗ об облачности. По нему наиболее точно можно определить количество и форму облаков, их структуру, особенности расположения облачных полос.

Карты нефанализса представляют собой схемы телевизионных (ТВ) и инфракрасных (ИК) снимков облачности, детали изображения которой с помощью условных обозначений

и с учетом масштаба нанесены на бланки-карты. На карты нефонализа наносят: границы районов со сплошной (80...100% площади покрыто облаками), значительной (50...80%) и небольшой (20...50%) облачностью, а также границы районов с ясной погодой (20% и менее). В пределах облачного массива указывают основные формы облаков (слоистообразные, кучевообразные и волнистообразные), ориентацию облачных полей и полос, а также центры облачных вихрей и районы со снежным и ледяным покровом. Т.е., карты нефонализа содержат общедоступную, обобщенную, схематическую характеристику облачных полей и подстилающей поверхности.

При наблюдениях за облачностью на аэродромах и сообщениях о ней в сводках фактической погоды необходимо выполнять следующие требования:

1. На аэродромах, оборудованных системами точного захода на посадку, высота нижней границы облачности определяется с помощью датчиков, установленных в районе БПРМ. При отсутствии таких систем могут использоваться как эти так и другие датчики, показания которых отображают условия, характерные для летного поля.

2. Высота облаков нижнего яруса определяется инструментально. При отсутствии инструментальных средств, а также в случаях, когда в слое облачности имеются значительные разрывы и ее высота не может быть измерена инструментально, она оценивается по данным экипажей воздушных судов или визуально. Если по данным экипажей высота облачности отличается от сообщенной в последней сводке, по запросу руководителя полетов (диспетчера) наблюдатель проводит контрольный замер и, при необходимости, выпускает уточненную сводку погоды.

3. При тумане, осадках или других явлениях, когда состояние неба определить невозможно, результаты инструментальных измерений указываются в сводках как вертикальная видимость.

4. В местных сводках погоды и на погодных дисплеях высота нижней границы облачности (вертикальная видимость) указывается до высоты 150 м включительно через 10 м, выше 150 – через 30 м. В сводках METAR/SPECI высота нижней границы облачности указывается в величинах, кратных 30 м до

высоты 3000 м и кратных 300 м на высотах более 3000 м. Вертикальная видимость указывается только до высоты 600 м в величинах, кратных 30 м.

5. При определении высоты облаков в районе БПРМ, расположенному выше или ниже порога ВПП более, чем на 10 м, в измеренное значение вводится поправка на разность высот. Поправка вычитается, если БПРМ находится ниже и прибавляется, если БПРМ находится выше порога ВПП.

6. На аэродромах, где из-за местных особенностей между БПРМ и ВПП возникает низкая облачность, данные о ее высоте, сообщаемые экипажами воздушных судов, включаются в сводки погоды во всех случаях, когда эта высота ниже значений, полученных с помощью наземных наблюдений.

6.5. ОСАДКИ, ИХ ФОРМЫ И ВИДЫ. ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ НА ПОЛЕТЫ

Осадками называют капли воды и кристаллы льда, выпадающие из облаков или оседающие из воздуха на земную поверхность. Осадки из облаков дают более 99% общего количества воды, поступающей из атмосферы на земную поверхность; менее 1% приходится на осадки, осаждающиеся из воздуха.

Осадки характеризуются количеством и интенсивностью. **Количество осадков** измеряется толщиной (выраженной в мм или см) того слоя воды, который они образовали бы на поверхности земли при отсутствии просачивания, стока и испарения. **Интенсивность** – это количество осадков, выпадающих за единицу времени (за минуту или за час).

Необходимым условием для образования осадков является укрупнение облачных элементов до таких размеров, при которых скорость падения этих элементов становится больше скорости восходящих потоков. Процесс укрупнения происходит, в основном, по следующим причинам:

а) за счет переконденсации водяного пара с капель воды на кристаллы льда или с мелких капель на крупные. Это происходит потому, что упругость насыщения над ледяными кристаллами меньше, чем над каплями воды, над крупными каплями меньше, чем над мелкими.

б) за счет слияния (коагуляции) капель воды при их столкновении в результате турбулентных движений воздуха и различной скорости падения крупных и мелких капель. Эти столкновения приводят к поглощению мелких капель крупными.

Рост капель за счет конденсации преобладает до тех пор, пока радиус капли не станет равным 20...60 мкм, после чего главным процессом укрупнения облачных элементов становится коагуляция.

Облака, однородные по своей структуре, т.е. состоящие только из одинаковых по размерам капель или только из ледяных кристаллов, осадков не дают. К таким облакам относятся кучевые и высоко-кучевые, состоящие из мелких водяных капель, а также перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые, состоящие из ледяных кристаллов.

В облаках, состоящих из капель разного размера, происходит медленный рост более крупных капель за счет мелких. Однако, в результате указанного процесса образуются лишь небольшие капли дождя. Такой процесс происходит в слоистых, а иногда и в слоисто-кучевых облаках, из которых могут выпадать осадки в виде мороси.

в) основные виды осадков выпадают из смешанных облаков, в которых укрупнение облачных элементов происходит за счет замерзания переохлажденных капель на кристаллах льда. Укрупнение облачных элементов идет бурно и сопровождается выпадением дождя или снега. К таким облакам относятся кучево-дождевые, слоисто-дождевые и высоко-слоистые.

Осадки, выпадающие из облаков, могут быть жидкими, твердыми и смешанными. Основными формами осадков являются:

Дождь • • • : : : : :       – осадки в виде капель воды диаметром более 0,5 мм.

Снег * * * * * * * *      – твердые осадки в виде снежинок различных размеров. Снежинки чаще всего имеют вид звездочек правильной шестигранной формы. При температуре воздуха около 0°C снежинки слипаются, образуя хлопья, нередко довольно крупные.

Морось , , ; , ; , ; – мельчайшие капельки воды диаметром меньше 0,5 мм, находящиеся практически во взвешенном состоянии в воздухе. Их падение почти незаметно для глаза. Когда капель много, морось становится похожей на туман. Однако, в отличие от тумана, капли мороси выпадают на земную поверхность.

Мокрый снег  – осадки, состоящие из тающего снега при температуре – 0°...+5°C.

Снежная крупа  – мягкие молочно-белые непрозрачные крупинки округлой формы диаметром 2...5 мм.

Снежные зерна  – снежные мягкие крупинки белого цвета диаметром менее 2 мм.

Ледяная крупа  – прозрачные крупинки с плотным белым ядром в центре. Диаметр крупинок менее 5 мм. Образуется в тех случаях, когда капли дождя или частично растаявшие снежинки замерзают при падении сквозь нижний слой воздуха с отрицательной температурой.

Град  – осадки в виде кусочков льда разного размера. Градины имеют неправильную или сферическую (близкую к сферической) форму, их размер колеблется от 5 мм до 10 см и более. Поэтому вес градин может быть очень большим. В центре градин имеется беловатое полупрозрачное зерно, обтянутое несколькими слоями прозрачного и непрозрачного льда.

Ледяной дождь  – мелкие прозрачные сферические частицы диаметром 1...3 мм. Они образуются при замерзании капель дождя, падающих сквозь нижний слой воздуха с отрицательной температурой (дождь при температуре 0°...-5°C).

Ледяные иглы  – мельчайшие ледяные кристаллы, не имеющие ветвистого, как снежинки, строения. Наблюдаются в тихую морозную погоду. Видны как сверкающие в солнечных лучах искринки.

По характеру выпадения, в зависимости от физических условий образования, продолжительности и интенсивности, осадки разделяются на три вида:

1. Обложные осадки – это продолжительные, средней интенсивности осадки в виде капель дождя или в виде хлопьев снега, которые наблюдаются одновременно над значительной площадью. Эти осадки выпадают из системы фронтальных слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков.

2. Ливневые осадки – это кратковременные, большой интенсивности осадки в виде крупных капель, крупных хлопьев снега, иногда ледяной крупы или града, которые обычно наблюдаются над небольшими районами. Выпадают из кучево-дождевой, а иногда мощно-кучевой (в тропиках) облачности. Обычно они начинаются внезапно, делятся недолго, но в ряде случаев могут неоднократно возобновляться. Выпадение ливневых осадков часто сопровождается грозами и шквалами.

3. Моросящие осадки – очень мелкие капли, мельчайшие снежинки или снежные зерна, оседающие из облаков на землю почти незаметно для глаза. Наблюдаются одновременно над большой территорией, их интенсивность очень мала и определяется обычно не по количеству выпавших осадков, а по степени ухудшения горизонтальной видимости. Выпадают из слоистых и слоисто-кучевых облаков.

К осадкам, выделяющимся непосредственно из воздуха, относятся: роса, иней, изморозь, жидкий или твердый налет на наветренной стороне вертикально расположенных предметов.

Роса – это жидкие осадки в виде мелких капелек воды, образующихся в летние ночи и утром на предметах, расположенных у поверхности земли, листьях растений и т.д. Роса образуется при соприкосновении влажного воздуха с охлажденными предметами, вследствие чего происходит конденсация водяного пара.

Иней – это белый ледяной осадок кристаллического строения, образующийся в результате сублимации водяного пара в тех случаях, когда температура приземного воздуха и подстилающей поверхности ниже 0°C;

Высокое влагосодержание, малооблачная погода и слабый ветер способствуют образованию росы и инея. В этом процессе принимает участие слой воздуха толщиной 200...300 м и больше. Иней, образующийся на поверхности воздушного судна на земле, необходимо тщательно удалять перед вылетом, так

как это может привести к тяжелым последствиям вследствие того, что аэродинамические качества воздушного судна ухудшаются.

Изморозь – это белый, рыхлый, похожий на снег, лед. Она образуется в туманную морозную погоду при очень слабом ветре на ветках деревьев и кустарников, проводах и на других предметах. Образование изморози связано главным образом с замерзанием мельчайших переохлажденных капелек, сталкивающихся с различными предметами. Снежная бахрома изморози может быть самой причудливой формы. Она легко осыпается при стряхивании, но при повышении температуры и новом похолодании может смерзаться и оледеневать.

Жидкий и твердый налет образуется на наветренной части вертикально расположенных предметов, охлажденных до температуры ниже температуры окружающего воздуха. В теплое время образуется жидкий налет, а при температуре поверхности ниже 0°C образуются белые полупрозрачные кристаллы льда. Этот вид осадков может образовываться в любое время суток при резких потеплениях в холодное время года.

Особой формой переноса осадков являются метели. Различают три вида метелей: снежный поземок , снежная низовая метель  и общая метель.

Снежный поземок и снежная низовая метель образуются при переносе сухого снега по поверхности земли. Снежный поземок образуется при ветре 4...6 м/с, снег поднимается на высоту до 2 м над поверхностью земли. Снежная низовая метель образуется при ветре 6 м/с и более, снег поднимается на высоту более 2 м над поверхностью земли. При **общей метели** (своего значка не имеет) наблюдается выпадение снега из облаков, ветер 10 м/с и более, подъем с земли ранее выпавшего снега и видимость менее 1000 м.

Все виды осадков усложняют производство полетов. Влияние осадков на полеты зависит от их вида, характера выпадения и температуры воздуха.

1. В осадках ухудшается видимость и понижается нижняя граница облаков. В умеренном дожде при полете с небольшой скоростью горизонтальная видимость ухудшается до 4...2 км, а при большой скорости полета – до 2...1 км. Значительное

ухудшение горизонтальной видимости наблюдается при полете в зоне снегопада. В слабом снеге видимость обычно не превышает 1...2 км, а в умеренном и сильном – ухудшается до нескольких сотен метров. В ливневых осадках видимость резко ухудшается до нескольких десятков метров. Нижняя граница облаков в зоне осадков, особенно на атмосферных фронтах, понижается до 50...100 м и может располагаться ниже высоты принятия решения.

2. Осадки в виде града вызывают механические повреждения воздушных судов. При большой скорости полета даже небольшие градины могут сделать значительные вмятины и разрушить остекление кабины. Град иногда встречается на значительной высоте: мелкий град наблюдается на высоте около 13 км, а крупный – на высоте 9,5 км. Разрушение остекления на большой высоте может привести к разгерметизации, что очень опасно.

3. При полетах в зоне ледяного дождя наблюдается интенсивное обледенение воздушных судов.

4. Длительные обложные осадки в теплое время года вызывают переувлажнение грунта и выводят из строя на то или иное время грунтовые аэродромы, нарушают регулярность отправления и приема воздушных судов.

5. Сильные ливневые осадки ухудшают аэродинамические качества воздушного судна, что может привести к срыву потока. В связи с этим посадка в сильных ливневых осадках при видимости менее 1000 м *запрещена*.

6. При полетах по ПВП в зоне снегопада над заснеженной поверхностью значительно снижается контрастность всех объектов на земной поверхности и поэтому сильно ухудшается ориентировка.

7. При посадке на мокрую или покрытую снегом ВПП увеличивается длина пробега самолета. Скольжение на ВПП, покрытой снегом, в 2 раза больше, чем на бетонной ВПП.

8. При разбеге воздушного судна с ВПП, покрытой слякотью, может возникнуть гидроглиссирование. Колеса воздушного судна отбрасывают мощные струи воды и слякоти, происходит сильное торможение и увеличение длины разбега. Могут создаться такие условия, что воздушное судно не достигнет скорости отрыва и возникнет опасная ситуация.

9. Выпадающий в зимнее время снег требует проведения дополнительных работ по его уборке и уплотнению на ВПП, рулежных дорожках и стоянках, где обслуживаются воздушные суда и другие машины и механизмы.

6.6. ПОНЯТИЕ ОБ ИСКУССТВЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ОБЛАКА И ТУМАНЫ С ЦЕЛЬЮ ИХ РАССЕЯНИЯ

Туманы и низкие облака серьезно ограничивают возможности полетов, а в ряде случаев создают нелетную погоду. Поэтому давно предпринимаются поиски путей искусственного воздействия на туманы и облака с целью их рассеяния в районе аэродрома хотя бы на время, требующееся для посадки. Проблема раскрытия аэродромов от туманов и низких облаков представляет собой часть обширной комплексной проблемы воздействия человека на погоду.

Атмосферные процессы, обуславливающие погоду, обладают огромной энергией, поэтому воздействовать на них весьма трудно. Например, энергия, связанная с образованием мощного кучево-дождевого облака, в несколько раз превышает энергию, вырабатываемую крупной гидроэлектростанцией. Для изменения направления ветра на территории, по площади равной Московской области, требуется энергия, вырабатываемая всеми электростанциями мира. Однако атмосферные процессы обладают специфическим свойством – иногда их состояние таково, что путем использования сравнительно небольшого количества энергии или введения незначительного количества соответствующего реагента можно достичь большого эффекта, так как в результате воздействия возникает неустойчивое равновесие и начинается саморазвивающаяся реакция. Искусственные воздействия на туманы и низкие облака и состоят в выявлении таких неустойчивых состояний и в разработке средств и методов воздействия на них для реализации саморазвивающихся реакций.

В принципе, туман или низкие облака можно рассеять путем воздействия на их внутреннюю структуру. Капли, составляющие туман или облака, можно испарить, например,

повышением температуры воздуха, либо каким-нибудь путем удалить их из облака (тумана), или же укрупнить и заставить их выпасть. Можно также воздействовать на фазовое состояние частичек тумана и облака, используя эффект различия упругости насыщения над водой и льдом. Могут быть использованы и другие пути воздействия, но не все из них можно реализовать достаточно эффективно.

Наиболее эффективно воздействие на переохлажденные туманы и низкие облака. Капли воды в тумане или в облаках в зависимости от их размеров и других свойств могут не замерзать до температуры -40°C. Если в такой туман (облако) ввести ядра кристаллизации или заморозить некоторые из капель, то начнется саморазвивающаяся реакция и их внутренняя перестройка, фазовое равновесие тумана (облака) нарушится. Так как упругость насыщения надо льдом меньше, чем над водой, то капли будут испаряться, а на кристаллах за счет сублимации начнут вырастать крупные снежинки. Постепенно вся влага, содержащаяся в каплях тумана (облака), перейдет на ледяные кристаллы. Снежинки выпадут на землю, запасы влаги в тумане (облаке) уменьшатся и он (оно) рассеется. В качестве ядер кристаллизации используют твердую углекислоту или льдоподобные вещества (например, йодистое серебро, йодистый свинец).

Для рассеяния туманов и облаков на 1 км пути требуется от 1 до 100 г углекислоты или от 0,1 до 1 г йодистого серебра.

Наибольшее развитие получило использование твердой углекислоты. При внесении в туман или в облачную среду твердой углекислоты (сухого льда) там происходит следующий процесс. Твердая углекислота испаряется. Так как температура ее испарения около -70°C, то очень мелкие капли в пограничном с твердой углекислотой слое почти мгновенно замерзают. Число кристаллов льда, образующихся при этом процессе, огромно. Например, при температуре воздуха -1°C 1 г твердой углекислоты стимулирует образование $5,8 \cdot 10^{11}$ кристаллов льда, а при более низкой температуре их возникает еще больше. Образовавшиеся кристаллы распространяются по всей зоне тумана (облака).

Твердая углекислота сбрасывается на туман (облако) с самолета или вводится с помощью специальных наземных установок. После прохода самолета, с которого производился "засев", туман ослабевает или рассеивается (в облаках образуется

просвет). Полоса пространства, свободного от тумана (просвет в облаках), сохраняется в течении 20...40 минут, а затем просветы снова затягиваются туманом (облаками).

Для рассеивания туманов и облаков, образующихся при положительных температурах, метод использования углекислоты непригоден. Анализ методов воздействия на теплые туманы и низкие слоистые облака, расположенные ниже нулевой изотермы, показывают, что наиболее пригодны для этой цели тепловые методы. Они не связаны с введением в атмосферу каких-либо частиц, мало зависят от микрофизических характеристик тумана. При нагревании тумана, происходит перестройка его структуры, водность уменьшается, видимость улучшается. Нагревание воздуха вызывает также изменение стратификации атмосферы: она становится более неустойчивой, возникает вынужденная конвекция, способствующая рассеянию тумана. Для реализации тепловых методов рассеяния тумана нужны мощные источники тепла, это связано со значительными экономическими затратами. И тем не менее, тепловые методы рассеяния тумана получили широкое распространение в Англии (система "Фидо"), Франции (система "Турбоклер") и других странах.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Что называется конвекцией?
2. Что называется облаками?
3. Что такое 1 октант?
4. Какие условия необходимы для образования облаков?
5. Какие бывают облака в зависимости от их микроструктуры (внутреннего строения)?
6. Что положено в основу морфологической классификации облаков?
7. Что положено в основу генетической классификации облаков?
8. Что такое облака нижнего яруса?
9. Какие формы облаков относятся к нижнему ярусу?
10. Что такое облака среднего яруса?
11. Какие формы облаков относятся к среднему ярусу?
12. Что такое облака верхнего яруса?
13. Какие формы облаков относятся к верхнему ярусу?
14. Что такое облака вертикального развития?
15. Какие формы облаков относятся к облакам вертикального развития?
16. Какие формы облаков относятся к кучевообразным?

17. Какие формы облаков относятся к слоистообразным?
18. Какие формы облаков относятся к волнистообразным?
19. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают кучевые облака?
20. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают мощно-кучевые облака?
21. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают кучево-дождевые облака?
22. С какой облачностью связано кратковременное усиление ветра у Земли?
23. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают высоко-кучевые башенообразные или хлопьевидные облака?
24. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают перисто-кучевые облака?
25. В каких облаках могут наблюдаться грозы?
26. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают разорванно-дождевые облака?
27. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают слоисто-дождевые облака?
28. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают высоко-слоистые облака?
29. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают перисто-слоистые облака?
30. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают перистые облака?
31. Какие облака являются предвестниками приближения теплого фронта (плохой погоды)?
32. В какие облака руководящими документами ГА входить запрещается?
33. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают слоистые облака?
34. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают слоисто-кучевые облака?
35. Какое влияние на полеты и обслуживание воздушного движения оказывают волнистообразные высоко-ко-кучевые облака?
36. Что называется осадками?
37. Какие процессы приводят к образованию осадков?
38. Что называется процессом коагуляции?
39. Что является основной причиной образования осадков?
40. На какие виды подразделяются осадки в зависимости от формы выпадения?
41. На какие виды подразделяются осадки в зависимости от характера выпадения?
42. Из каких облаков выпадают ливневые осадки?
43. Из каких облаков выпадают обложные осадки?
44. Какие осадки выпадают из разорванно-дождевых облаков?
45. Из каких облаков выпадают моросящие осадки?
46. Какие осадки оседают на земную поверхность непосредственно из воздуха?
47. Как осадки влияют на выполнение полетов и обслуживание воздушного движения?

ГЛАВА 7. ВИДИМОСТЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОЛЕТЫ

7.1. ДАЛЬНОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВИДИМОСТИ И ЕЕ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

Видимость – это зрительное восприятие объектов, обусловленное существованием яркостных и цветовых различий между объектами и фоном, на котором они проектируются. Видимость является одним из наиболее важных метеорологических факторов, влияющих на выполнение полетов и особенно на взлет и посадку воздушных судов, так как около 80% необходимой информации пилот получает зрительным путем. Видимость характеризуется дальностью видимости (как далеко видно) и степенью видимости (как хорошо видно). При метеорологическом обеспечении авиации используют только дальность видимости, которую обычно называют видимостью.

Дальность видимости – это максимальное расстояние, с которого видны и опознаются неосвещенные объекты днем и световые ориентиры ночью. Предполагается, что объект всегда доступен наблюдателю, т.е. рельеф местности и шарообразность Земли не ограничивают возможность наблюдения. Количественно видимость оценивается через дальность и зависит от геометрических размеров объекта, его освещенности, контрастности объекта и фона, прозрачности атмосферы.

Геометрические размеры объекта. Человеческий глаз обладает определенной разрешающей способностью и может видеть объекты, размеры которых не менее одной угловой минуты. Для того чтобы объект не обращался с расстоянием в точку, а мог быть опознан, его угловой размер должен быть не менее 15'. Поэтому линейные размеры объектов на земной поверхности, выбранных для визуального определения видимости, должны увеличиваться с расстоянием от наблюдателя. Расчеты показывают, что для уверенного определения видимости объект должен иметь линейные размеры не менее 2,9 м (на расстоянии 500 м), 5,8 м (на расстоянии 1000 м) и 11,6 м (на расстоянии 2000 м). Форма объекта также влияет на видимость. Объекты с резко очерченными гранями (здания, мачты, трубы и т.д.) видны лучше, чем объекты с расплывчатыми гранями (лес и т.п.).

Освещенность. Для наблюдения объекта необходимо, чтобы он был освещен. Глаз человека сохраняет устойчивость к восприятию объектов при освещенности 20...20000 лк (люксов). Дневная освещенность изменяется в пределах 400...100000 лк. Если освещенность объекта менее предельной для глаза, то объект становится невидимым.

Контраст объекта с фоном. Объект достаточных угловых размеров можно видеть лишь в том случае, когда он отличается по яркости или цвету от фона, на который проектируется. Решающее значение имеет яркостный контраст, так как цветовой контраст для удаленных предметов сглаживается из-за оптической дымки.

Оптическая дымка – это своеобразная световая завеса, которая образуется в результате рассеивания световых лучей находящимися в атмосфере жидкими и твердыми частицами (продукты конденсации и сублимации водяного пара, пыль, дым и т.п.). Предметы, рассматриваемые издалека сквозь оптическую дымку, обычно изменяют свой цвет, их краски тускнеют и они кажутся серовато-голубого оттенка.

Яркостный контраст K – это отношение абсолютной разности яркостей объекта B_o и фона B_ϕ к большей из них.

Если $B_o > B_\phi$ (условие для наблюдения светящихся объектов ночью), то:

$$K = \frac{B_o - B_\phi}{B_o}$$

Если $B_\phi > B_o$ (условие для наблюдения темных предметов днем), то:

$$K = \frac{B_\phi - B_o}{B_\phi}$$

Яркостный контраст изменяется в пределах 0...1. При $B_o = B_\phi$, $K = 0$ объект не виден. При $B_o = 0$, $K = 1$ объектом является черное тело.

Порог контрастной чувствительности ε – это наименьшее значение яркостного контраста, при котором глаз перестает видеть объект. Величина ε непостоянна. Она неодинакова у разных людей, зависит от освещенности объекта

и степени адаптации глаза наблюдателя к данной освещенности. В условиях нормального дневного освещения и достаточных угловых размеров объекта обнаружить объект можно при $\varepsilon = 0,05$. Потеря его видимости наступает при $\varepsilon = 0,02$. В авиации принято значение $\varepsilon = 0,05$. Если освещенность уменьшается, то контрастная чувствительность глаза увеличивается. В сумерки и ночью $\varepsilon = 0,6 \dots 0,7$. Поэтому яркость фона в этих случаях должна быть на 60...70% больше яркости объекта.

Прозрачность атмосферы – это основной фактор, определяющий дальность видимости, так как наблюдаемые контрасты между яркостью предмета и фона зависят от оптических свойств воздуха, от ослабления и рассеивания в нем световых лучей. Газы, составляющие атмосферу, обладают чрезвычайно большой прозрачностью. Если бы атмосфера состояла только из одних чистых газов, то дальность видимости в светлое время суток достигала бы 250...300 км. Водяные капли, ледяные кристаллы, частички пыли и дыма, взвешенные в атмосфере, рассеивают световые лучи. В результате образуется оптическая дымка, которая ухудшает видимость объектов и огней в атмосфере. Чем больше в воздухе взвешенных частиц, тем больше яркость оптической дымки и тем хуже видны далекие предметы. Прозрачность атмосферы ухудшают следующие метеоявления: все виды осадков, дымка, туман, мгла, пыльная буря, поземок, низовая метель, общая метель.

Прозрачность атмосферы характеризуют коэффициентом прозрачности τ . Он показывает, насколько световой поток, проходящий через слой атмосферы толщиной 1 км, ослабляется находящимися в этом слое различными примесями.

7.2. ВИДЫ ВИДИМОСТИ

Метеорологическая дальность видимости (МДВ) – это максимальное расстояние, на котором видны и опознаются в светлое время суток черные объекты с угловыми размерами более 15', проектирующиеся на фоне неба у горизонта или на фоне дымки.

При инструментальных наблюдениях за видимость принимается **метеорологическая оптическая дальность видимости** (MOR – meteorological optical range), под которой понимают длину пути светового потока в атмосфере, на котором он ослабевает до 0,05 от своего начального значения.

МДВ (MOR) зависит только от прозрачности атмосферы, включается в информацию о фактической погоде на аэродроме, наносится на карты погоды и является первичным элементом при оценке условий видимости для потребностей авиации.

Видимость для авиационных целей – это большая из следующих величин:

- максимальное расстояние, на котором можно различить и опознать черный объект соответствующих размеров, расположенный вблизи земли и наблюдаемый на светлом фоне;
- максимальное расстояние, на котором можно различить и опознать огни силой света около 1000 кандел на освещенном фоне.

Эти расстояния имеют разные значения в воздухе с заданным коэффициентом ослабления.

Преобладающая видимость – это наибольшее значение видимости, наблюданной в соответствии с определением термина **видимость**, которое достигается в пределах, по крайней мере, половины линии горизонта или в пределах, по крайней мере, половины поверхности аэродрома. Обозреваемое пространство может включать в себя смежные и несмежные секторы.

Дальность видимости на ВПП (RVR – runway visual range) – это расстояние, в пределах которого пилот воздушного судна, находящегося на осевой линии ВПП, может видеть маркировку покрытия ВПП или огни, ограничивающие ВПП или обозначающие ее осевую линию. Высота среднего уровня глаз пилота, находящегося в кабине воздушного судна, принимается равной 5 м. Измерения RVR наблюдателем практически неосуществимы, ее оценка осуществляется путем расчетов, основанных на законе Кошмидера (при использовании объектов или маркеров) и на законе Алларда (при использовании огней). Включаемое в сводки значение RVR представляет собой наибольшее из этих двух величин. Расчет RVR проводится только на аэродромах, оборудованных системами огней

высокой (ОВИ) или малой (ОМИ) интенсивности, при максимальной видимости вдоль ВПП менее 1500 м. При видимости более 1500 м видимость RVR отождествляется с МДВ (MOR). Инструктивные указания относительно вычисления видимости RVR содержатся в "Руководстве по практике наблюдения за дальностью видимости на ВПП и передачи сообщений о ней" (ДОС 9328).

Вертикальная видимость – это максимальная высота, с которой экипаж, находящийся в полете, видит вертикально вниз землю. При наличии облаков вертикальная видимость равна высоте нижней границы облаков или меньше ее (в тумане, в сильных осадках, при общей метели). Вертикальная видимость определяется с помощью приборов, измеряющих высоту нижней границы облаков. Информация о вертикальной видимости включается в сводки о фактической погоде аэродрома вместо высоты нижней границы облаков.

Наклонная видимость – это максимальное расстояние вдоль глиссады снижения, на котором пилот воздушного судна, заходящего на посадку, при переходе от пилотирования по прибору к визуальному, может обнаружить и опознать начало ВПП. В сложных метеорологических условиях (видимость 2000 м и менее и/или высота нижней границы облаков 200 м и ниже) наклонная видимость может быть существенно меньше горизонтальной видимости у поверхности земли. Это бывает при наличии между летящим воздушным судном и земной поверхностью задерживающих слоев (инверсия, изотермия), под которыми скапливаются мелкие капельки воды, частички пыли, индустриальные загрязнения атмосферы и т.п.; или при заходе воздушного судна на посадку в низкой облачности (ниже 200 м), под которой имеется подоблачный слой густой дымки переменной оптической плотности.

Наклонная видимость инструментально не определяется. Она рассчитывается на основании измеренной МДВ (MOR). В среднем, при высоте нижней границы облачности менее 200 м и МДВ (MOR) менее 2000 м наклонная видимость составляет 50% от горизонтальной дальности видимости на ВПП.

7.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДИМОСТИ НА АЭРОДРОМАХ

Дальность видимости на аэродромах определяется визуально или инструментально при помощи соответствующих приборов.

При **визуальном определении** видимости для каждого пункта наблюдения подбираются дневные и ночные (световые) ориентиры, составляются их схемы с указанием азимута и расстояния до каждого ориентира. Схемы ориентиров видимости разрабатываются аэродромными метеорологическими органами совместно с органами обслуживания воздушного движения (ОВД), утверждаются старшим авиационным начальником аэродрома и находятся на пунктах наблюдений и соответствующих диспетчерских пунктах. В качестве ориентиров видимости для светлого времени суток выбираются любые объекты, имеющие угловые размеры не менее 15' и видимые с места наблюдения под углом не более 5...6° к плоскости горизонта. Объекты по цвету и яркости должны отличаться от фона, на который они проектируются. **Горизонтальная видимость днем** принимается равной расстоянию от наблюдателя до самого удаленного объекта (ориентира), который еще различается в виде серого силуэта без деталей.

Для ночных наблюдений за видимостью выбираются световые ориентиры (8...10 огней), расположенные на различных расстояниях от пункта наблюдения. Огни должны быть открытыми и белого цвета. **Горизонтальная видимость в темное время суток** (в том числе и в сумерки) принимается равной расстоянию до самого удаленного отчетливо видимого огня, который имеет вид светящейся точки. Если огонь имеет вид расплывчатого светлого пятна, то он считается невидимым.

Для визуальных наблюдений за видимостью на ВПП используются щиты-ориентиры. Они должны быть покрашены в черно-белый цвет (в виде четырех, расположенных в шахматном порядке клеток), если они проектируются на горы, лес и другие объекты; или в черный цвет, если они проектируются на фоне неба. В темное время суток на щитах включаются лампочки мощностью 60 Вт.

Инструментальные наблюдения за видимостью проводятся при ее значениях 2000 м и менее. Если хотя бы один из посадочных минимумов аэродрома по видимости (дальности видимости на ВПП) превышает 2000 м, инструментальные наблюдения проводятся до его значения или до максимального значения видимости, которое определяется техническими характеристиками прибора. При определении видимости (дальности видимости на ВПП) инструментально обычно применяются **трансмиссометры**, измеряющие коэффициент пропускания атмосферы, или **измерители прямого рассеяния**, определяющие показатель ослабления атмосферы. Затем проводят расчет RVR с учетом измеренного количественного параметра (т.е. коэффициента пропускания или показателя ослабления), характеристик огней и предполагаемой чувствительности зрения пилота в преобладающих условиях яркости фона. Наибольшее распространение на сети аэродромных метеорологических станций получили трансмиссометры (импульсный фотометр ФИ-2, системы MITRAS финской фирмы VAISALA и др.)

Трансмиссометр осуществляет непосредственные измерения прозрачности атмосферы между двумя точками в пространстве. Другими словами, он производит оценку среднего показателя ослабления и обеспечивает надежный метод оценки ослабления независимо от типа атмосферных явлений, которые приводят к ухудшению видимости, например, туман, дождь, снег, пыль и т.д. На рис. 7.1 схематически изображены два наиболее часто используемых типа трансмиссометров. По существу, оба состоят из излучателя, который направляет луч света на фотодетектор приемного устройства. В первой компоновке, иногда называемой “двухконечным” трансмиссометром (рис. 7.1 а), свет направляется прямо к приемнику. Расстояние, которое проходит свет от излучателя до приемника, обычно называется **базисной линией**. Во втором типе излучатель и приемник объединены в один блок, при этом излучаемый луч возвращается обратным отражателем; вследствие этого длина (базисная линия) светового луча вдвое больше расстояния между точкой выхода луча и блоком, в котором размещен рефлектор. Этот тип прибора известен как

отражающий трансмиссометр, трансмиссометр со сложенной базисной линией или одноконечный трансмиссометр. Отраженный луч отделяется в излучателе-приемнике от излучаемого луча (например, с помощью расщепителя луча, как это схематически изображено на рис. 7.1. б). Некоторые системы трансмиссометров допускают работу с двумя базисными линиями, то есть они оснащены одним излучателем и двумя приемными устройствами.

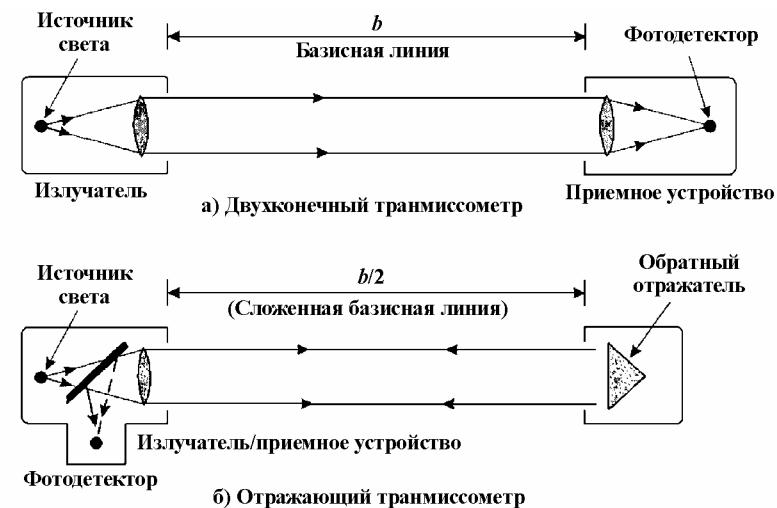


Рис. 7.1. Схемы двух типов трансмиссометров

Трансмиссометры проводят непрерывные дистанционные измерения и регистрацию на ленте значений МДВ (MOR) в любых метеорологических условиях как днем, так и ночью. Они могут быть использованы автономно или в составе автоматизированных комплексов аэродромного оборудования.

Приборы для измерения видимости устанавливаются вдоль ВПП:

- при длине ВПП 2000 м и менее – в зоне приземления (курса посадки) и дальнего конца ВПП;
- при длине ВПП более 2000 м – в зоне приземления, середины и дальнего конца ВПП.

Регулярные наблюдения за видимостью на аэродромах проводятся в период полетов через 30 минут, в остальное время ежечасно. В сложных метеоусловиях дополнительно к этому проводятся специальные наблюдения.

На аэродромах, не оборудованных системами посадки, наблюдения за видимостью проводятся как в сторону ВПП, так и в других направлениях. При визуальных наблюдениях в сводку погоды включается значение видимости, определенное в направлении рабочего старта ВПП. Наименьшее значение видимости в любом другом направлении, если оно меньше значения, включенного в сводку, сообщается дежурному синоптику и диспетчеру ОВД с указанием направления, в котором эта видимость наблюдается.

На аэродромах, оборудованных системами посадки, наблюдения за видимостью проводятся вдоль ВПП. При визуальных наблюдениях в регулярные и специальные сводки погоды включается значение видимости, определенное по установленным вдоль ВПП ориентирам. В сумерках при визуальных наблюдениях видимость оценивается как по дневным, так и по световым ориентирам. При этом в сводку включается большее из определенных значений.

Видимость для авиационных целей определяется при использовании автоматизированных систем метеорологических наблюдений, в программном обеспечении которых эта функция реализована. Она автоматически рассчитывается по данным трансмиссометров, установленных вдоль ВПП.

Определение видимости на ВПП (RVR) осуществляется на всех ВПП, предназначенных для использования в течение периодов пониженной видимости, а именно:

- а) оборудованных для выполнения точного захода на посадку и посадок по приборам по II и III категориям ICAO;
- б) оборудованных для точного захода на посадку и предназначенных для выполнения заходов на посадку и посадок по приборам по I категории ICAO;
- в) не оборудованных для точного захода на посадку и предназначенных для выполнения заходов на посадку и посадок по приборам без категории, оборудованных посадочными огнями малой (ОМИ) или высокой (ОВИ) интенсивности;
- г) используемых для взлета и оборудованных посадочными и/или осевыми ОВИ.

Видимость на ВПП (RVR) вычисляется автоматически или по специальным таблицам на основании данных о МДВ (MOR), яркости фона и освещенности на ВПП. Для оценки дальности видимости на ВПП, предназначеннной для выполнения заходов на посадку и посадок по приборам по II и III категориям ICAO, используются только автоматизированные системы.

На аэродромах, не оборудованных светосигнальными системами ОВИ или ОМИ, видимость на ВПП не определяется.

Данные о дальности видимости на ВПП в сводки METAR/SPECI и местные регулярные и специальные сводки включаются при видимости или дальности видимости вдоль ВПП менее 1500 м.

7.4. МИНИМУМЫ ПОГОДЫ

Низкая облачность и ограниченная видимость являются одним из основных метеорологических факторов, затрудняющих работу авиации. В целях обеспечения безопасности и регулярности полетов в сложных метеорологических условиях устанавливаются значения высоты нижней границы облачности (ВНГО) и видимости ($L_{вид}$), при которых разрешается выполнять полеты подготовленному командиру воздушного судна (КВС), эксплуатировать воздушное судно и использовать аэродром для взлета и посадки воздушных судов. Минимумы устанавливаются для КВС для взлета, посадки и полета по правилам визуального полета (ПВП); для аэродрома и для воздушного судна (рис. 7.2).

Высота принятия решения (ВПР) – установленная абсолютная или относительная высота, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг в случаях, если до достижения этой высоты КВС не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку или положение воздушного судна в пространстве, или параметры его движения не обеспечивают безопасности посадки. ВПР отсчитывается от уровня порога ВПП или от среднего уровня моря. Порог ВПП – это начало участка ВПП, который может использоваться для посадки воздушных судов.

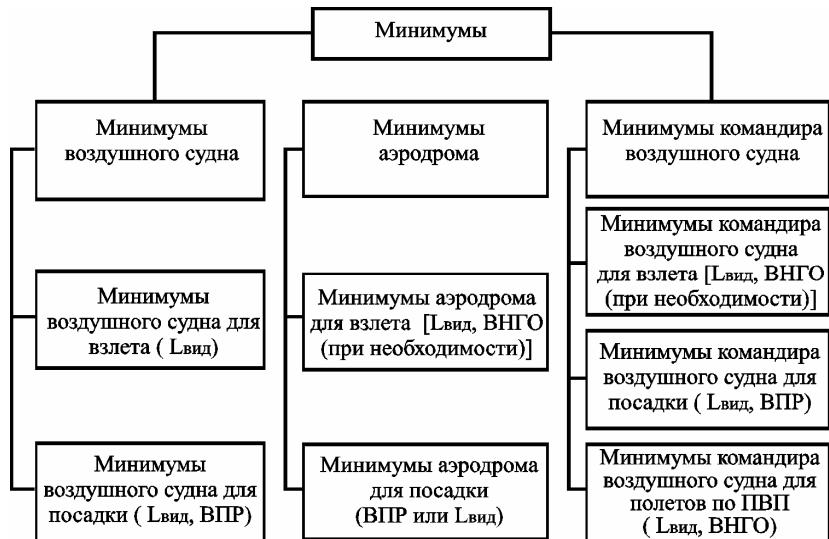


Рис. 7.2. Схема видов минимумов погоды

Минимум аэродрома для взлета – минимально допустимые значения видимости на ВПП (видимости) и (при необходимости) высоты нижней границы облаков, при которых разрешается выполнять взлет на воздушном судне данного типа.

Минимум аэродрома для посадки – минимально допустимые значения высоты принятия решения и видимости на ВПП (видимости), при которых разрешается выполнять посадку на воздушном судне данного типа.

Минимум воздушного судна для взлета – минимально допустимое значение видимости на ВПП, позволяющее безопасно производить взлет на воздушном судне данного типа.

Минимум воздушного судна для посадки – минимально допустимые значения видимости на ВПП и ВПР, позволяющие производить посадку на воздушном судне данного типа.

Минимум командира воздушного судна для взлета – минимально допустимое значение видимости на ВПП (при необходимости, высота нижней границы облаков), при котором командиру разрешается выполнять взлет на воздушном судне данного типа.

Минимум командира воздушного судна для посадки – минимально допустимые значения видимости на ВПП и ВПР, при которых командиру разрешается выполнять посадку на воздушном судне данного типа.

Минимум командира воздушного судна для полетов по ПВП – минимально допустимые значения видимости и высоты нижней границы облаков, при которых командиру разрешается выполнять визуальные полеты на воздушном судне данного типа.

Для обеспечения безопасности и эффективности полетов в наиболее сложных метеорологических условиях устанавливаются категорированные минимумы ICAO.

Минимум I категории – точный заход на посадку и посадка по приборам при высоте принятия решения не менее 60 м (200 ft) или при видимости не менее 800 м, или дальности видимости на ВПП не менее 550 м.

Минимум II категории – точный заход на посадку и посадка по приборам при высоте принятия решения менее 60 м (200 ft), но не менее 30 м (100 ft) и при дальности видимости на ВПП не менее 300 м.

Минимум III категории – точный заход на посадку и посадка по приборам:

- при высоте принятия решения менее 30 м (100 ft) или без ограничения по высоте принятия решения;
- при дальности видимости на ВПП не менее 200 м.

Минимум IV категории – точный заход на посадку и посадка по приборам:

- при высоте принятия решения менее 15 м (50 ft) или без ограничения по высоте принятия решения;
- при дальности видимости на ВПП менее 200 м, но не менее 75 м.

Минимум V категории – точный заход на посадку и посадка по приборам без ограничения по высоте принятия решения и дальности видимости на ВПП.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Что называется видимостью?
2. От каких факторов зависит дальность видимости?
3. Что называется порогом контрастной чувствительности?
4. Что называется метеорологической дальностью видимости (МДВ)?
5. Что называется метеорологической оптической дальностью видимости (MOR)?
6. От чего зависит метеорологическая дальность видимости (метеорологическая оптическая дальность видимости)?
7. Что понимают под видимостью для авиационных целей?
8. Что называется преобладающей видимостью?
9. Что называется дальностью видимости на ВПП?
10. Что называется вертикальной видимостью?
11. Что называется наклонной видимостью?
12. В каких случаях наклонная видимость существенно отличается от горизонтальной видимости у земли?
13. Каким образом определяется видимость на аэродромах?
14. Как проводится визуальное определение видимости?
15. Когда проводится инструментальное определение видимости?
16. С помощью каких приборов проводится измерение видимости?
17. В чем заключается принцип действия трансмиссометра?
18. Где устанавливаются приборы для определения видимости при длине ВПП 2000 м и менее (более 2000 м)?
19. Как часто определяется видимость на аэродромах?
20. На каких аэродромах определяется видимость на ВПП?
21. Каким образом определяется видимость на ВПП?
22. На каких аэродромах дальность видимости на ВПП не определяется?
23. При какой видимости проводится расчет видимости на ВПП?
24. Что такое минимумы погоды?
25. Какие бывают минимумы погоды?
26. Что такое высота принятия решения?
27. Какие бывают минимумы погоды по категориям ICAO?

ГЛАВА 8. СИНОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

8.1. ПОНЯТИЕ ОБ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ

Воздушная оболочка Земли – атмосфера – находится в постоянном движении. Силы, вызывающие движение воздуха, возникают в связи с неодинаковым нагреванием Солнцем земной поверхности и воздуха в различных географических районах, а их действие направлено к установлению равновесия в атмосфере, устранению неравномерностей состояния воздуха над полюсами и экватором, над океаном и сушей, над горами и равнинами и т.д. Однако в действительности равновесия в атмосфере не бывает. Воздух постоянно перемещается из одних районов Земли в другие, создает целую систему циркуляционных областей, опоясывающих весь земной шар. В каждой такой циркуляционной области преобладают свои ветры и свое распределение давления.

Из всего разнообразия воздушных течений в атмосфере можно выделить главные, наиболее значительные по своим масштабам и наиболее устойчивые. Такая совокупность крупномасштабных, охватывающих большие географические районы, и относительно устойчивых (т.е. постоянно существующих) воздушных течений, называется *общей циркуляцией атмосферы (ОЦА)*. ОЦА определяется многими факторами, наиболее важными из которых являются: лучистая энергия Солнца, вращение Земли вокруг своей оси, неоднородность подстилающей поверхности, трение воздуха о земную поверхность.

Лучистая энергия Солнца является основным источником атмосферной циркуляции, а неравномерное ее распределение на разных широтах и в разное время года – главной причиной глобальной циркуляции. Первоначальной причиной движения воздуха в горизонтальном направлении является неодинаковое распределение температуры, что приводит к неравномерному распределению давления.

Вращение Земли и действие при этом инерционных сил наиболее существенно влияет на движение воздуха в атмосфере в высоких и средних широтах. На экваторе это влияние приближается к нулю. Если бы Земля не вращалась и ее поверхность была бы однородна, схема ОЦА была бы очень проста. Наиболее теплыми оказались бы нижние слои атмосферы в районе экватора, а наиболее холодными – в районе полюсов. При этом у земной поверхности воздух перемещался бы от полюса к экватору, а в верхних слоях – в обратном направлении. В этом случае в любой точке Северного полушария у земной поверхности наблюдались бы северные ветры, и характер погоды был бы довольно однообразным.

Влияние подстилающей поверхности на ОЦА не ограничивается только приземным слоем, а распространяется на всю тропосферу в результате турбулентного перемешивания. Неоднородность подстилающей поверхности значительно усложняет циркуляцию атмосферы. Так, вследствие неодинакового соотношения между площадями континентов и океанов в Северном и Южном полушариях (материки: Северное полушарие – 39,3%, Южное полушарие – 19,1%), циркуляция атмосферы в Северном полушарии значительно сложнее, чем в Южном.

Трение воздуха о земную поверхность всегда уменьшает скорость воздушных течений и изменяет их направление. Это происходит в пограничном слое атмосферы, ограниченном высотой 1,0...1,5 км.

К основным закономерностям ОЦА относятся:

- превышение скоростей горизонтальных движений над вертикальными в крупномасштабных процессах;
- преобладание зональных (вдоль широтных кругов) воздушных течений над меридиональными;
- преимущественно вихревой характер атмосферных процессов;
- нестационарность атмосферных движений, их постоянная изменчивость и, вызванные нестационарностью, непрерывные изменения атмосферной циркуляции и ее структурных элементов;
- изменения направления и скорости воздушных течений при переходе от слоя к слою и неравномерное распределение кинетической энергии как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях;

– изменения направления и скорости воздушных течений при переходе от сезона к сезону.

ОЦА тесно связана с распределением атмосферного давления возле земной поверхности и на высотах. Распределение давления на уровне моря имеет зональный характер. Но в каждой зоне можно увидеть отдельные области высокого и низкого давления, выраженные замкнутыми изобарами. Такие области называются **центрами действия атмосферы** и их четко видно на климатических картах распределения атмосферного давления в январе и в июле (рис. 8.1 и 8.2). Центры действия атмосферы, которые определяются на климатических картах всех месяцев года, называются **перманентными**. Другие центры обнаруживаются только на летних или зимних картах и называются **сезонными**.

В экваториальной зоне наблюдается низкое давление. В январе этот пояс располагается несколько южнее, а в июле – севернее экватора.

На юг и на север от экватора **вдоль широт 30...35°** располагаются зоны высокого давления. Они распадаются на отдельные области, которые называются субтропическими антициклонами. Центры этих антициклонов располагаются в субтропических широтах океанов. В Северном полушарии это **Азорский антициклон**, который образуется в субтропических широтах Азорских островов, и **Гавайский (Гонолульский)** – в Тихом океане возле Гавайских островов. В Южном полушарии субтропические антициклины образуются в южной части Атлантического океана – **южноатлантический**, в южной части Тихого океана – **южнотихоокеанский** и в южной части Индийского океана – **южноиндийский**.

Над 60...65° Северного и Южного полушарий наблюдается низкое давление. В Северном полушарии зимой области низкого давления располагаются в районе Исландии в Атлантическом океане и южнее Аляски в Тихом океане (Исландский и Алеутский минимумы). Летом область низкого давления возле Исландии выражена слабо, а южнее Аляски не наблюдается совсем.

Над полярными районами как **Северного**, так и **Южного полушарий** располагаются зоны высокого давления.

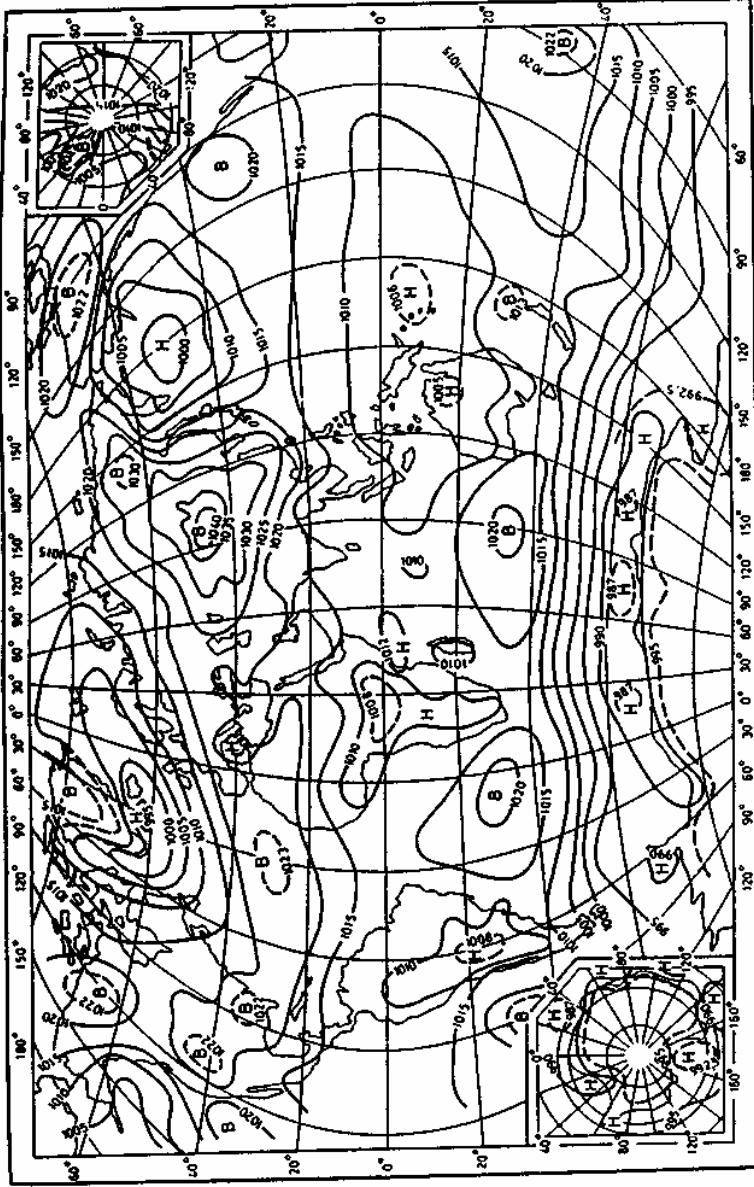


Рис. 8.1. Распределение среднего атмосферного давления на уровне моря в январе (гПа)

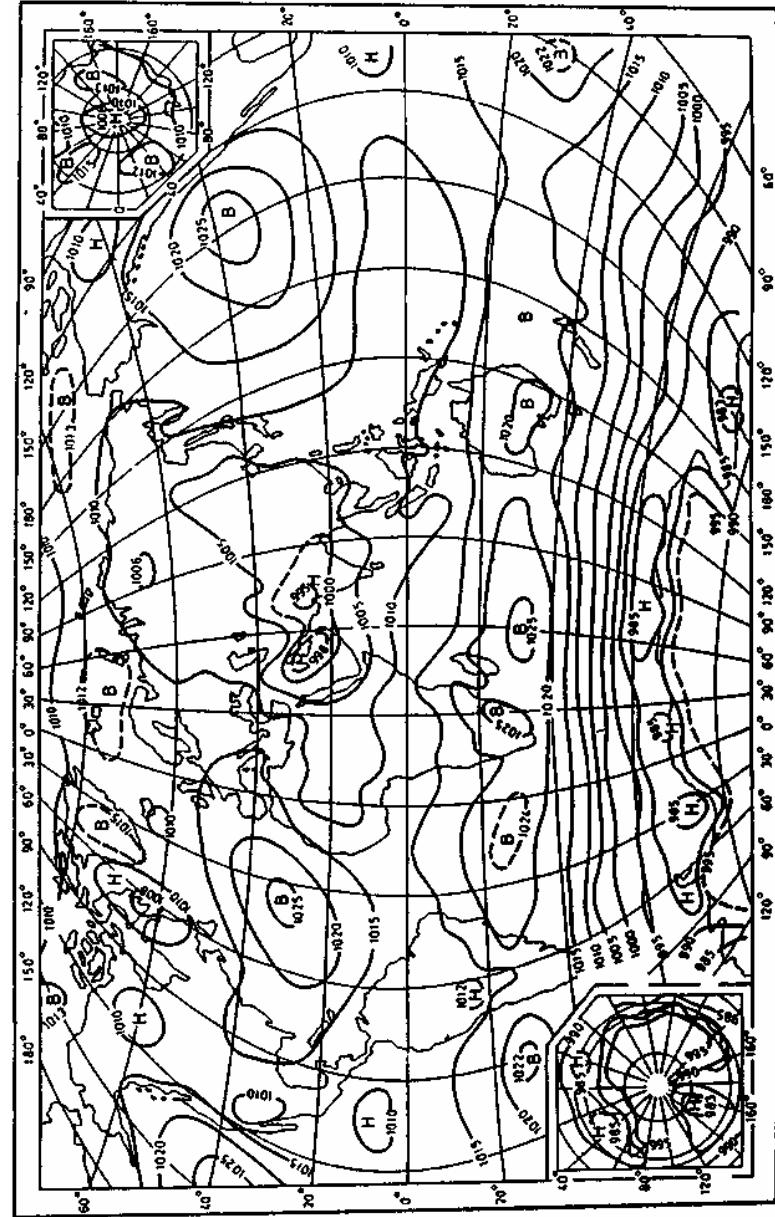


Рис. 8.2. Распределение среднего атмосферного давления на уровне моря в апреле (гПа)

В механизме ОЦА можно выделить пять широтных циркуляционных зон (рис. 8.3).

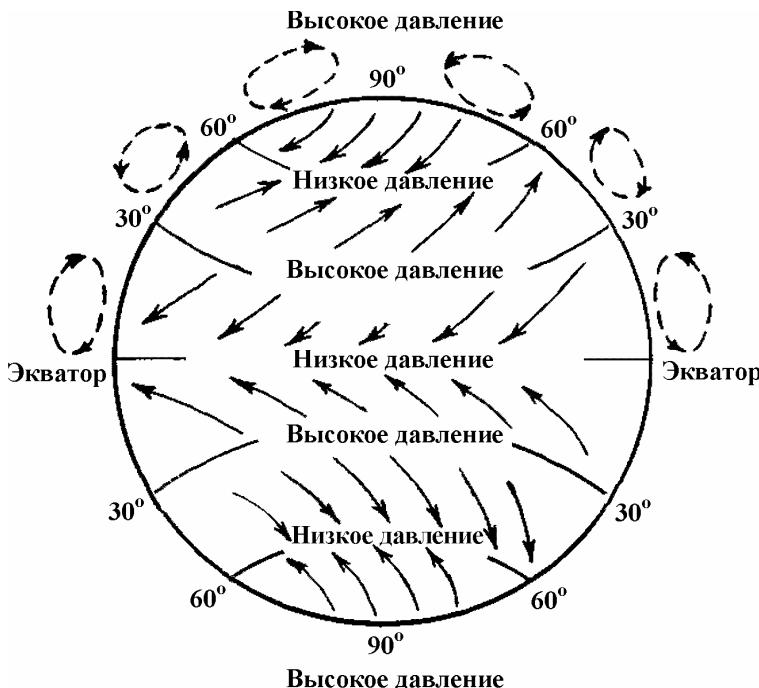


Рис. 8.3. Упрощенная схема общей циркуляции

I. Низкоширотная зона в экваториальных и тропических широтах, лежащая в пределах 30° по обе стороны экватора. Это пояс низкого давления (зона затишья). Здесь воздух совершает восходящее движение и в высоких слоях атмосферы оттекает к полюсам. При этом воздушная масса отклоняется под действием силы Кориолиса вправо в Северном полушарии и влево – в Южном. Таким образом, первоначальные южные течения сначала становятся юго-западными, затем юго-западными и на широте 30° , где отклонение от меридиана достигает 90° , эти течения принимают западное направление, что затрудняет в верхних слоях дальнейшее перемещение к северу экваториальных воздушных масс. Вследствие этого, а также потому, что пространство между меридианами по широте 30° значительно

меньше, чем на экваторе, над районами около 30° широты происходит накопление воздушных масс, что вызывает в этих районах образование пояса высокого давления. В результате этого на широте 30° в нижних слоях тропосфера возникают барические градиенты, направленные от этого пояса на юг (Северное полушарие) и на север (Южное полушарие). Под действием силы горизонтального барического градиента воздух начинает двигаться от субтропических широт к экватору. Благодаря силе Кориолиса эти воздушные течения отклоняются вправо (Северное полушарие) и влево (Южное полушарие). В результате этого образуются постоянные северо-восточные ветры Северного полушария и юго-восточные – Южного. Эти ветры называются **пассатами**. Верхние юго-западные (северо-западные) потоки от экватора к субтропическим широтам называются **антипассатами**.

В низкоширотной зоне условия погоды определяются:

- процессами конвекции, вызывающими тропические ливни и грозы;
- летними (дождливый период) и зимними (засушливый период) муссонами;
- пассатной циркуляцией (северо-восточные пассаты Северного полушария и юго-восточные пассаты Южного);
- тропическими циклонами, которые возникают осенью и в конце лета над океанами. Ежегодно в низкоширотной зоне возникает в среднем 100...120 тропических циклонов, из них 75% приходится на Северное полушарие и 25% – на Южное.

II-III. Умеренные зоны Северного и Южного полушарий, лежащие между полярными кругами (60°) и 30° широты соответствующего полушария. Здесь находится субтропический пояс высокого давления (35° Северного полушария и 30° Южного полушария). Этот пояс характеризуется неустойчивыми и исключительно слабыми ветрами. В Северном полушарии, в пределах этого пояса, имеются две области высокого давления (Азорский антициклон над Атлантическим океаном и Гонолуэльский антициклон над восточной частью Тихого океана). Субтропический пояс высокого давления делает климат в этих районах очень сухим, в связи с чем образуются пустыни Колорадо в Северной Америке, Сахара в Северной Африке,

Аравийская и Иранская пустыни в Азии. Такой же пояс пустынь прослеживается вдоль широты 30° Южного полушария (Атакама – в Южной Америке, Калахари – в Южной Африке, Виктория – в Австралии). Зимой над сильно выхоложенными континентами Азии и Северной Америки возникают обширные антициклоны.

Горизонтальный барический градиент направлен от субтропической области повышенного давления вдоль меридiana к полюсам. А так как градиентный ветер направлен перпендикулярно к силе горизонтального барического градиента вправо в Северном полушарии и влево – в Южном полушарии, то в тропосфере, выше слоя трения, наблюдается западный перенос воздуха.

В умеренных зонах условия погоды определяются:

- прохождением циклонов и антициклонов, которые приносят с собой большие объемы воздуха с различным влагосодержанием, различными температурой и термодинамическими свойствами. В течение года здесь часто наблюдаются грозы, шквалы, пыльные бури. Ветры дуют круглый год, при этом скорость их зимой больше, чем летом. В Южном полушарии зону, где наблюдаются эти ветры, называют ревущими сороковыми;
- большими сезонными колебаниями температуры. Над континентами формируются устойчивые и значительные по площади области высокого давления (Сибирский и Канадский зимние антициклоны), а над океанами – области низкого давления (Исландский и Алеутский минимумы). В теплое время года, наоборот, антициклоны разрушаются над континентами, а над океанами наблюдается рост давления (Азорский антициклон, гребень тихоокеанского антициклиона).

IV-V. Полярные зоны – арктическая в Северном полушарии и антарктическая – в Южном, – расположенные над географическими полюсами в высоких широтах за полярным кругом. Здесь расположен пояс низкого давления (60...70° в каждом полушарии), который называется субполярным минимумом. В Южном полушарии этот пояс сплошной и расположен над поверхностью океанов. В Северном полушарии он лучше выражен над Тихим океаном – между Аляской и Сибирью, а над Атлантическим океаном – между Гренландией и

Норвегией. В этом поясе у поверхности земли наблюдается сходимость северо-восточных и юго-западных ветров. Теплые воздушные массы встречаются с холодными воздушными массами арктического происхождения. При этом теплый воздух вытесняется вверх, что приводит к интенсивной циклонической деятельности. На картах распределения давления она выражается Исландским и Алеутским циклонами, а в летнее время – Сибирским (Азиатским) циклоном. Таким образом, циркуляция воздуха в полярных зонах осуществляется между поясом пониженного давления и полюсами, где расположены зоны повышенного давления. Ветры в этой зоне восточные. В полярных зонах условия погоды определяются:

- низкими температурами. Особенно холодно в южной полярной области, где погода в разгар лета аналогична зимним условиям в умеренной зоне;
- прохождением циклонов и антициклонов;
- слабыми суточными изменениями температуры;
- значительными годовыми колебаниями температуры.

Одной из особенностей погоды полярных областей является полное отсутствие конвективных процессов и связанных с ними характерных кучевообразных облаков и ливневых осадков.

Рассмотренная схема дает лишь приближенное представление об ОЦА. В действительности, в высоких и умеренных широтах постоянно возникают циклоны и антициклоны, которые приводят к усложнению этой системы.

Изучение ОЦА производится различными методами:

- синоптическими – изучение крупномасштабных процессов с помощью карт погоды различных уровней;
- гидродинамическими – предвычисление будущих воздушных течений, тех или иных атмосферных параметров путем численного интегрирования по времени уравнений гидродинамики и термодинамики атмосферы;
- статистическими (климатологическими) – объективный прогноз, базирующийся на статистических связях метеорологических величин по климатологическим данным.

8.2. ВОЗДУШНЫЕ МАССЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, УСЛОВИЯ ПОГОДЫ И ПОЛЕТОВ

На картах погоды можно выделить большие районы, в которых наблюдаются относительно однородные метеорологические условия (температура, влажность, характер облачности, горизонтальная видимость и др.). Такие большие массы воздуха в тропосфере, однородные по распределению основных метеорологических величин и явлений и перемещающиеся в одном из течений ОЦА, называются **воздушными массами (ВМ)**. В горизонтальном направлении ВМ распространяются на тысячи километров. По вертикали они достигают 1...2 км, иногда до тропопаузы.

При длительном пребывании над одним и тем же районом, который называется **очагом формирования**, ВМ приобретают все свойства данной подстилающей поверхности. При перемещении из очагов формирования в другие районы ВМ постепенно изменяют свои свойства, такой процесс называется **трансформацией ВМ**. В каждый данный момент свойства ВМ определяются географическим положением очага ее формирования и теми изменениями (трансформацией), которые произошли в ней на пути перемещения.

ВМ могут классифицироваться как по термодинамическому, так и по географическому принципу.

Основой термодинамической классификации ВМ является степень их нагретости и влагосодержание по сравнению с подстилающей поверхностью (ПП). По данной классификации ВМ могут быть теплые, холодные, нейтральные, устойчивые (УВМ) и неустойчивые (НВМ).

Теплой ВМ называется в том случае, если она перемещается на более холодную подстилающую поверхность (ХПП). Ее перемещение вызывает потепление, а сама она при этом охлаждается. Вертикальные температурные градиенты в теплой ВМ малы.

Холодной ВМ называется в том случае, когда ее температура оказывается ниже температуры подстилающей поверхности, на которую она перемещается. Ее приход в данный район вызывает похолодание, а сама она постепенно прогревается от подстилающей поверхности. Для данной ВМ характерны значительные вертикальные температурные градиенты.

Нейтральной называется ВМ, которая в данном районе сохраняет свои основные свойства без существенных изменений.

По наличию или отсутствию условий для развития конвекции ВМ подразделяются на УВМ и НВМ.

Устойчивой воздушной массой называется такая ВМ, в которой нет условий для развития конвективных движений. Это теплая ВМ. Вертикальный температурный градиент в ней обычно меньше или равен $0,5^{\circ}\text{C}/100$ м. Над континентом наиболее благоприятное время года для образования УВМ – зима, время суток – ночь. Над морем – лето, день. Условия погоды и полетов в УВМ зависят от степени влажности воздуха (рис. 8.4).

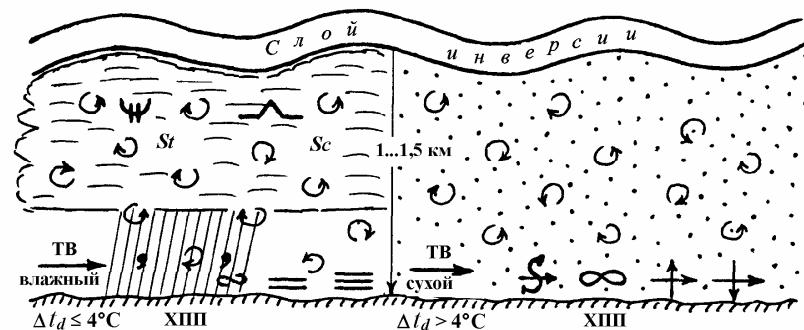


Рис. 8.4. Устойчивая воздушная масса

Если УВМ **влажная** ($\Delta t_d \leq 4^{\circ}\text{C}$), то теплый воздух, двигаясь по холодной подстилающей поверхности, охлаждается. Это приводит к увеличению относительной влажности в нижних слоях и к понижению уровня конденсации. В результате чего часто образуются дымки, туманы, а также низкие подинверсионные слоистые и слоисто-кучевые облака. Нижняя граница облачности располагается на высоте 100...200 м и ниже. Верхняя граница облачности достигает слоя инверсии (1000...1500 м). Из слоистых и слоисто-кучевых облаков выпадают осадки в виде мороси или мелких снежинок. При температуре около нуля градусов на земле часто образуется гололед. Над слоистыми или слоисто-кучевыми других облаков, как правило, не наблюдается или имеется небольшая облачность среднего или верхнего ярусов.

Если УВМ *сухая* ($\Delta t_d > 4^{\circ}\text{C}$), то облачность, как правило, не образуется, но видимость в приземном слое будет ухудшена, т.к. пыль и дым остаются у поверхности земли. Может наблюдаться мгла, пыльная буря, поземок (пыльный, песчаный, снежный), низовая метель (пыльная, песчаная, снежная).

При полетах во влажной УВМ взлет, посадка и визуальные полеты затрудняются или исключаются из-за низкой облачности, туманов, моросящих осадков и гололеда. Полеты в облаках и туманах при отрицательных температурах сопровождаются обледенением воздушных судов, интенсивность которого зависит от водности облака и температуры воздуха, а также слабой, иногда умеренной, болтанкой, которая усиливается по мере приближения к слою инверсии.

В сухой УВМ наблюдаются относительно простые метеорологические условия.

Выше 1000...1500 м полеты в УВМ проходят в спокойных условиях при хорошей видимости.

На картах погоды УВМ определяется по слоистым и слоисто-кучевым облакам, моросящим осадкам и туманам. Если ВМ сухая и облачность не образуется – с учетом времени года, суток и характера подстилающей поверхности.

Неустойчивой воздушной массой называется такая ВМ, в которой наблюдаются благоприятные условия для развития конвективных движений. Это холодные ВМ, вертикальные температурные градиенты в них, как правило, более $0,7^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. Над континентом наиболее благоприятное время года для образования НВМ – лето, время суток – день. Над морем – наоборот (зима и ночь). Условия погоды и полетов зависят от степени влажности воздуха (рис. 8.5).

Если **НВМ влажная** ($\Delta t_d \leq 4^{\circ}\text{C}$, $\alpha \geq 13 \text{ г}/\text{м}^3$), то летом над прогревшимся континентом в дневные часы образуются внутримассовые мощно-кучевые и кучево-дождевые облака. Кучево-дождевые облака сопровождаются ливневыми осадками, грозами, шквалами и смерчами. При полетах в облаках наблюдаются сильное обледенение, сильная болтанка, электрические разряды. Максимальное развитие конвекции над континентом наблюдается в послеполуденные часы, когда прогрев подстилающей поверхности достигает максимума.

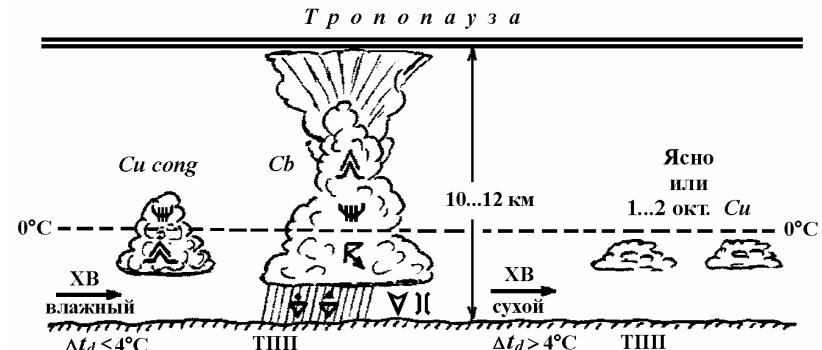


Рис. 8.5. Неустойчивая воздушная масса

Над водной поверхностью максимальное развитие всех конвективных явлений наблюдается ночью, так как верхние слои воздуха охлаждаются за счет излучения, а нижележащие слои, получая тепло от воды, охлаждаются значительно меньше.

Если **НВМ сухая**, то может наблюдаться ясная погода или небольшая (1...2 октанта) кучевая облачность.

В НВМ взлет и посадка могут осложняться из-за явлений, связанных с кучево-дождевыми и мощно-кучевыми облаками, входить в которые руководящими документами **запрещается**. Это может быть усиление ветра, прохождение через район аэродрома грозовых очагов с ливневыми осадками в виде дождя, ухудшение видимости в осадках до 1 км и менее, понижение облачности до 200...300 м и ниже. Полет в НВМ характеризуется наличием сильной болтанки, вызываемой турбулентностью, которая может наблюдаться на малых, средних и больших высотах как в облаках, так и в безоблачном небе. Большую опасность болтанка представляет при полетах на высотах, близких к практическому потолку воздушного судна, она может привести к потере управляемости, к созданию критических перегрузок, к нарушению режима работы двигателей и к другим нежелательным последствиям.

На картах погоды НВМ определяются по кучевообразным облакам и ливневым осадкам, а если НВМ сухая и облачность не образуется – с учетом времени года, суток и характера подстилающей поверхности.

В основу *географической классификации ВМ* положен принцип различного зонального положения очагов формирования ВМ. Согласно этой классификации различают арктический (в Южном полушарии антарктический), умеренный (воздух умеренных широт), тропический и экваториальный воздух – АВ, УВ, ТВ и ЭВ.

В зависимости от характера подстилающей поверхности в очаге формирования АВ, УВ и ТВ подразделяется на морской (М) и континентальный (К). Обычно для обозначения ВМ на синоптических картах используют их сокращенные названия: КАВ, МАВ, МУВ, КУВ, МТВ, КТВ, ЭВ.

Арктический воздух в зимнее время формируется над Полярным кругом, исключая Норвежское море и незамерзающую часть Баренцева моря, в летнее время – над льдами Арктического бассейна.

Континентальный арктический воздух приходит в Европу с северо-восточными ветрами через Карское море и замерзающую часть Баренцева моря. Вследствие малой влажности и отсутствия пыли видимость в КАВ достигает 50 км и более. Зимой в КАВ преобладает малооблачная погода с очень низкими температурами и морозными дымками в приземном слое. Весной, летом и осенью, перемещаясь на континент, КАВ начинает прогреваться, но вследствие малого влагосодержания в нем образуется только небольшая кучевая и высококучевая облачность. Кучевые облака обычно не перерастают в мощно-кучевые и кучево-дождевые облака. Поэтому выпадение ливневых осадков в КАВ представляет собой довольно редкое явление.

Морской арктический воздух приходит в Европу с северо-западными ветрами через Норвежское море и западную часть Баренцева моря. МАВ наиболее характерен для Западной Европы. В прогретом и увлажненном над морем МАВ развивается кучевообразная облачность, выпадают осадки ливневого характера, а в прибрежных районах Западной Европы и Скандинавии грозы отмечаются даже зимой.

Континентальный умеренный воздух формируется зимой между 65 и 40° с.ш., а летом – между 70 и 50° с.ш. Его свойства зависят от района формирования или от вида ВМ, которая трансформируется в КУВ. Так, например, если в КУВ трансформируется КАВ, то для него характерна малооблачная погода с

хорошей видимостью. При формировании из МАВ или МУВ в КУВ наблюдается мощная кучевая или кучево-дождевая облачность с ливнями и грозами. Зимой КУВ является устойчивой воздушной массой. При формировании КУВ зимой из МАВ или МУВ в нем наблюдается низкая слоистая облачность и радиационные туманы. В случае вторжения КАВ в умеренные широты зимой и его трансформации в КУВ наблюдается морозная погода, сопровождаемая радиационными дымками и туманами.

Морской умеренный воздух распространяется на территорию Европы из районов Северной и Центральной частей Атлантики. На восточную территорию России МУВ поступает с северо-западной части Тихого океана. В районах формирования МУВ в нижних слоях достаточно увлажнен. При вторжении в теплое время года на теплый континент он прогревается, в нем развивается мощная кучевая и кучево-дождевая облачность, выпадают ливневые дожди, наблюдаются грозы. В холодное время года теплый МУВ в приземном слое над выхоложенным континентом охлаждается, и в этой ВМ образуются низкие слоистые и слоисто-кучевые облака, густые дымки и адвективные туманы.

Морской тропический воздух формируется в субтропических широтах Атлантического, Тихого океанов и над Средиземным морем. МТВ сильно увлажнен и имеет высокие температуры. Как зимой, так и летом его вторжение на континент характеризуется резким потеплением. В летнее время в МТВ наблюдаются мощные кучево-дождевые облака, сопровождающиеся сильными шквалами, грозами и ливневыми дождями, иногда с выпадением крупного града. В холодное время года образуются плотные слоистые и слоисто-кучевые облака с моросящими осадками и адвективные туманы.

Континентальный тропический воздух формируется над континентальными районами в субтропиках и тропиках, откуда поступает в средние широты, принося с собой жаркую погоду. Летом он может формироваться и в умеренных широтах путем трансформации из МУВ при длительном прогреве воздуха в сухую безоблачную погоду. Летом КТВ может формироваться над степями и полупустынями Северного Кавказа, Нижнего Поволжья и Прикаспия, а также над Средней Азией. В теплое время года это неустойчивая воздушная масса, в холодное – устойчивая.

Экваториальный воздух формируется в области экватора. Сюда относят и воздух летнего муссона над северной частью Индийского океана, территорией Китая и Приморского края России. Зимой муссонный воздух характерен для южных районов Азии и прилегающих к ним областей Индийского океана. ЭВ сильно увлажнен. В районе формирования в нем могут наблюдаться хорошо развитые по вертикали кучевые и кучево-дождевые облака, сопровождающиеся интенсивными ливнями и грозами. В умеренных широтах ЭВ, как правило, не наблюдается.

8.3. АТМОСФЕРНЫЕ ФРОНТЫ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, УСЛОВИЯ ПОГОДЫ И ПОЛЕТОВ

Атмосферным фронтом (АФ) называется раздел между двумя различными ВМ (рис. 8.6).

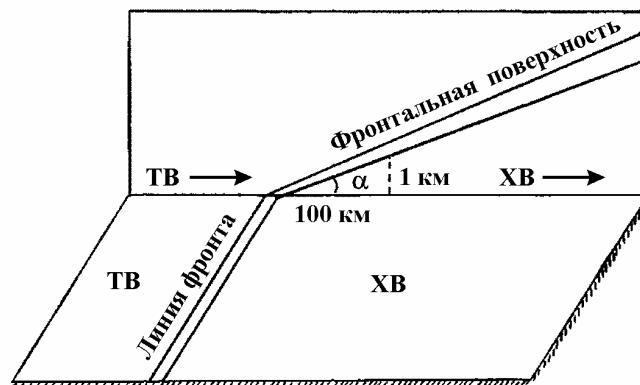


Рис.8.6. Атмосферный фронт

Переходная зона между ВМ у поверхности земли называется **линией фронта**. Ее ширина достигает нескольких десятков километров.

Переходная зона в пространстве называется **фронтальной поверхностью**. Ее толщина в нижней и средней тропосфере достигает несколько сотен метров, а в верхней – 1...2 км. Фронтальная поверхность всегда наклонена в сторону холодного

воздуха. Объясняется это тем, что давление в холодном воздухе с высотой убывает быстрее, чем в теплом, поэтому менее плотный теплый воздух натекает на более плотный холодный. Угол наклона фронтальной поверхности к горизонту очень мал и составляет около одного градуса. Тангенс угла наклона колеблется от 1/50 до 1/300. Наиболее часто он составляет 1/100. Это означает, что по мере удаления у земли от линии фронта в сторону ХВ фронтальная поверхность будет повышаться примерно на 1 км на каждые 100 км расстояния. Величина угла наклона зависит от соотношения температур и скорости ветра в ВМ, лежащих по обе стороны АФ. Обычно фронтальная поверхность представляет собой слой инверсии и является задерживающим слоем.

Определение положения АФ осуществляется с использованием ряда признаков на картах погоды:

- линия фронта проходит вдоль оси барической ложбины;
- вдоль линии фронта наблюдается сходимость воздушных потоков. При этом перед фронтом ветер дует параллельно фронту, а за фронтом – перпендикулярно. После прохождения фронта ветер поворачивает по часовой стрелке;
- при переходе через линию фронта наблюдаются заметные контрасты температуры ($\Delta t > 5^{\circ}\text{C}$);
- при переходе через линию фронта изменяются значения точки росы, влагосодержания, видимости;
- с АФ связаны мощная облачность и осадки. При этом каждому фронтальному разделу соответствуют характерные для него облачные системы и зоны осадков: перед теплым фронтом наблюдается система слоистообразной облачности (*Ci*, *Cs*, *As*, *Ns*, *Fr nb*) и широкая зона обложных осадков; для холодного фронта типичны кучевообразные облака (чаще *Cb*) и ливневые осадки; для фронта окклюзии типичны многослойная облачность различных форм и расположение зон осадков по обе стороны от линии фронта;
- при переходе линии фронта происходит изменение барической тенденции: перед теплым фронтом наблюдается падение давления, за холодным фронтом – рост.

В атмосфере постоянно происходят процессы образования и размывания АФ (фронтогенез и фронтолиз).

Основной причиной **образования (фронтогенеза)** АФ является сходимость ВМ. В местах встречи ВМ, где образуется зона с большими контрастами температуры, влажности, других метеорологических величин и явлений, и возникает АФ.

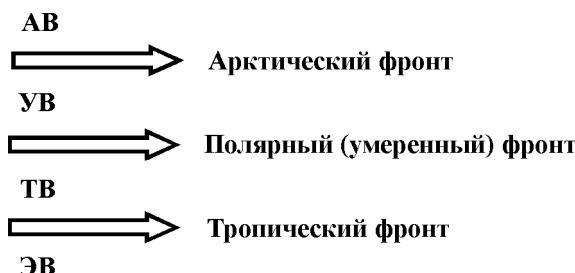
Размытие (фронтолиз) АФ происходит при условии длительного существования расходимости ВМ.

АФ различают по географическим признакам, их протяженности, особенностям перемещения, вертикального и горизонтального строения и условий погоды.

По географическим признакам в связи с географической классификацией ВМ различают следующие **главные АФ**:

- арктический фронт;
- полярный (умеренный) фронт;
- тропический фронт.

Названия главных атмосферных фронтов получены по более холодной из двух воздушных масс, которые они разделяют:



По горизонтальной и вертикальной протяженности различают следующие фронты:

- основные (высокие);
- вторичные;
- верхние.

Основные АФ имеют большую горизонтальную (несколько тысяч километров) и вертикальную (несколько километров) протяженность, обычно прослеживаются по всей тропосфере. Разделяют ВМ, существенно различающиеся по своим свойствам. Контраст температуры на приземной карте в зоне основных фронтов обычно превышает 5°C.

Вторичные фронты являются разделами внутри одной и той же воздушной массы, но между различными по температуре объемами (порциями) воздуха. Контраст температур обычно составляет несколько градусов. Горизонтальная протяженность таких фронтов не превышает несколько сотен километров, по вертикали они достигают 3...5 км.

Верхние фронты образуются на некоторой высоте в тропосфере. Они прослеживаются на картах барической топографии, но не выявляются на приземных картах погоды.

Высокие и верхние фронты образуют в верхней тропосфере широкую переходную зону, называемую высотной фронтальной зоной (ВФЗ) (рис. 8.7). Если эта зона имеет широтное расположение и большую протяженность, ее называют планетарной высотной фронтальной зоной (ПВФЗ).

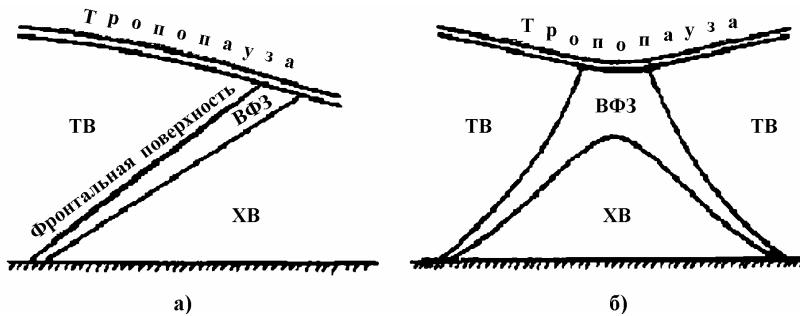


Рис. 8.7. Высотная фронтальная зона:
а) одного атмосферного фронта;
б) двух атмосферных фронтов

Иногда два хорошо выраженных внизу фронта сливаются в верхних слоях тропосфера, образуя одну широкую ВФЗ. ВФЗ характеризуется большими горизонтальными градиентами температуры. Обычно вдоль ВФЗ наблюдаются струйные течения.

По особенностям перемещения, вертикального строения и условий погоды различают:

- простые фронты – теплые, холодные, стационарные (малоподвижные);
- сложные фронты или фронты окклюзии – теплые, холодные.

Теплым фронтом (ТФ) – называется такой атмосферный фронт, который образуется при движении теплого воздуха в сторону отступающего холодного воздуха. Средняя скорость его движения достигает 20...30 км/ч. На картах погоды наносится линией красного цвета или таким орнаментом

В холодное время года на ТФ (рис. 8.8) за счет восходящего скольжения теплого воздуха по холодному образуется слоистообразная облачность.

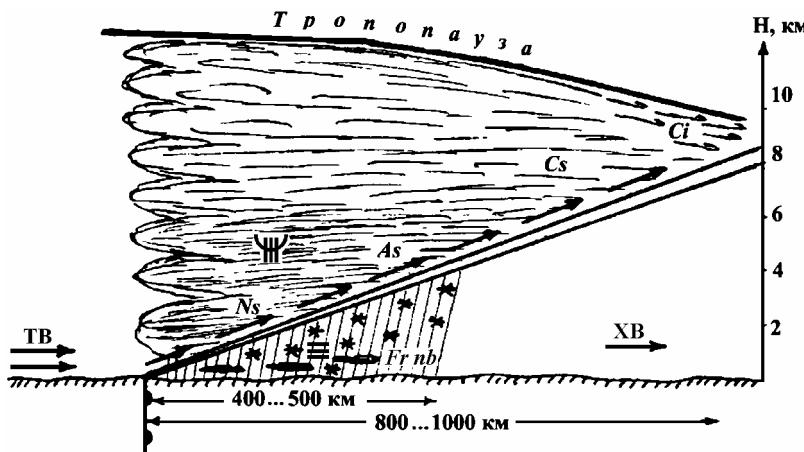


Рис. 8.8. Схема облачности теплого фронта в холодное время года

Облачность может быть сплошной, но зачастую облака верхнего яруса отделены от слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков безоблачной прослойкой. Из слоисто-дождевых и высоко-слоистых облаков выпадают обложные осадки, ширина зоны которых достигает 400...500 км (летом она не превышает 200...300 км т.к. осадки из высоко-слоистых облаков испаряются и до земли не доходят). В зоне осадков образуются низкие разорванно-дождевые облака, а иногда и фронтальные туманы, ширина зоны которых вдоль линии фронта достигает 100...200 км. У земли при приближении ТФ отмечается падение давления, что приводит к усилению ветра и возникновению общих метелей. Если теплый воздух сухой, то облачная система ТФ состоит только из облаков среднего и/или верхнего ярусов.

При полетах в облаках, осадках и туманах возможно обледенение воздушных судов, интенсивность которого зависит от температуры воздуха и водности облака. Наиболее интенсивным и опасным обледенение бывает при полетах в зоне переохлажденного (ледяного) дожда.

При пробивании облачности сверху вниз или снизу вверх возможна электризация воздушного судна и поражение его разрядом статического электричества.

В зоне осадков взлет, посадка и визуальные полеты затрудняются или исключаются из-за низкой облачности и плохой видимости в осадках, туманах и метелях.

В теплое время года (рис. 8.9), если теплый воздух является МТВ или хорошо прогретым МУВ, на ТФ наряду со слоистообразными облаками образуются кучево-дождевые облака и развиваются грозы. Обычно это бывает летом ночью или утром, реже – днем.

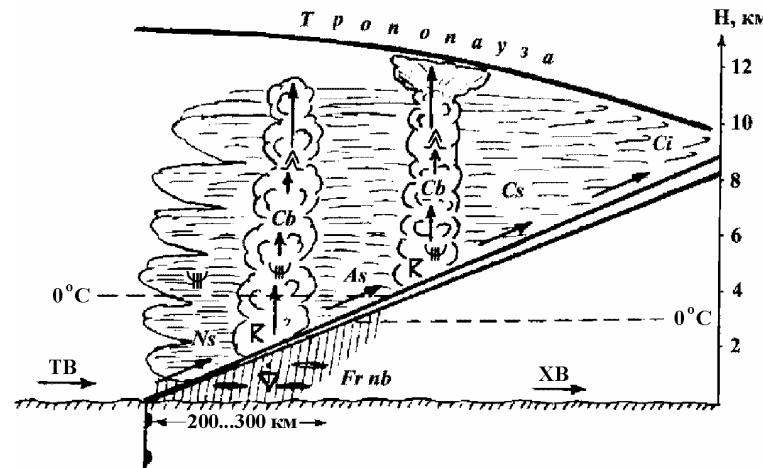


Рис. 8.9. Схема облачности теплого фронта в теплое время года

Развитие этих гроз обуславливается сильным ночных радиационным выхолаживанием верхнего слоя фронтальной облачности (t_h) при относительно неизменных температурах в нижних слоях облаков (t_0). Это приводит к увеличению контраста температуры между нижним и верхним краем облака, а, следовательно, к увеличению вертикального температурного

градиента (рис. 8.10). Большие вертикальные температурные градиенты являются причиной развития вертикальных токов внутри слоистообразных облаков. Эти токи и приводят к образованию кучево-дождевых облаков, замаскированных слоистообразными облаками теплого фронта. Нижняя граница кучево-дождевых облаков находится на высоте 1,5...2 км, а верхняя граница может значительно выступать над облаками теплого фронта.

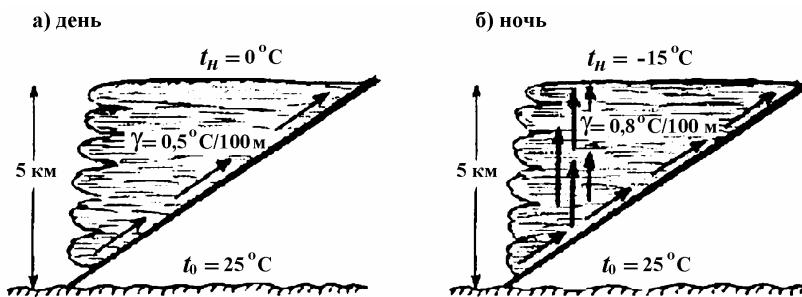


Рис. 8.10. Условия возникновения вертикальных токов в облаках теплого фронта

Условия полетов в зоне теплого фронта летом осложняются сильным обледенением, сильной болтанкой и скрытыми (замаскированными) кучево-дождовыми облаками, в которых развиваются грозы.

При полетах в зонах теплых фронтов **рекомендуется**:

- пересекать фронт перпендикулярно к линии фронта, используя при этом имеющиеся безоблачные прослойки;
- обнаруживать грозы по радиолокатору, треску в телефонах (наушниках), “рысканию” стрелки радиокомпаса, сильной болтанке;
- обходить грозы только на воздушных судах, оборудованных бортовыми радиолокаторами, при этом расстояние между краями засветок на экране радиолокатора должно быть не менее 50 км;
- помнить о сильном обледенении в слоисто-дождевых, высокослоистых облаках и переохлажденных осадках. Зимой из зоны обледенения уходить вверх, в сторону более низких

отрицательных температур, летом – вниз, в сторону положительных температур;

- помнить, что предвестником приближения теплого фронта (плохой погоды) являются перистые облака.

Холодным фронтом (ХФ) называется такой атмосферный фронт, который образуется при движении холодного воздуха в сторону отступающего теплого воздуха. В зависимости от скорости движения различают ХФ 1-го рода и ХФ 2-го рода. На картах погоды ХФ наносятся линией синего цвета или таким орнаментом

ХФ 1-го рода – это медленно движущийся ХФ (рис. 8.11). Средняя скорость его движения составляет 30...40 км/ч.

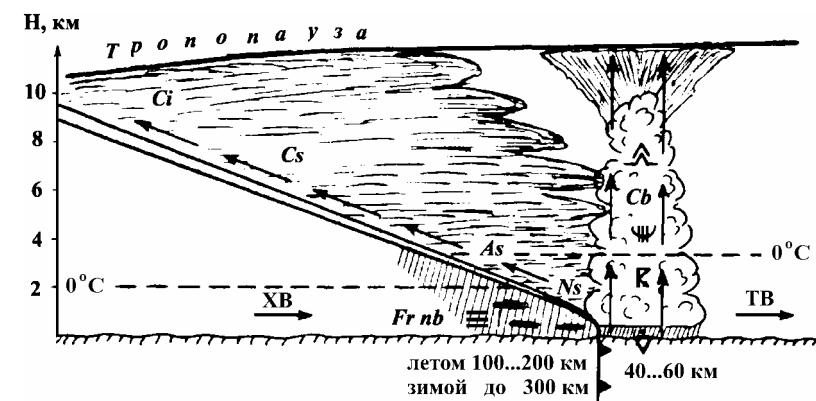


Рис. 8.11. Схема облачности холодного фронта 1-го рода

Холодный воздух медленно подтекает под теплый воздух и вынуждает часть его двигаться вверх вертикально (вынужденная конвекция), а другую часть – путем восходящего скольжения. В результате этого в передней крутой части фронта образуются кучево-дождевые облака, которые сопровождаются ливневыми осадками, грозами, шквалами и смерчами, сильным обледенением и сильной болтанкой. Кучево-дождевые облака располагаются вдоль линии фронта и занимают полосу шириной 40...60 км, развиваются в теплое время года до 8...10 км, а иногда и до тропопаузы, зимой – не превышают 4...5 км. Над верхней частью фронтальной поверхности образуются слоисто-

образные облака, как на типичном теплом фронте. Ширина зоны обложных осадков за линией фронта достигает 100...200 км летом и до 300 км зимой. В зоне осадков образуются низкие разорванно-дождевые облака и иногда туманы. ХФ 1-го рода по характеру облачности в холодное время напоминает ТФ, только все явления проходят в обратном порядке: сначала появляются низкие слоисто-дождевые и разорванно-дождевые облака, затем высоко-слоистые, перисто-слоистые и, наконец, перистые.

Условия полетов зимой такие же, как и на теплом фронте. Летом условия полетов определяются, в основном, наличием кучево-дождевых облаков, входить в которые руководящими документами запрещается.

ХФ 2-го рода – это быстродвижущийся ХФ (рис. 8.12). Средняя скорость его движения 40...60 км/ч, максимальная – 80...100 км/ч. Холодный воздух движется с большой скоростью, интенсивно подтекает под теплый воздух и вытесняет весь теплый воздух вертикально вверх. В результате этого образуются кучево-дождевые облака, которые летом достигают тропопаузы, а иногда и нижних слоев стратосферы. Зимой они не превышают 5...7 км. Ширина зоны облачности и осадков достигает 40...60 км.

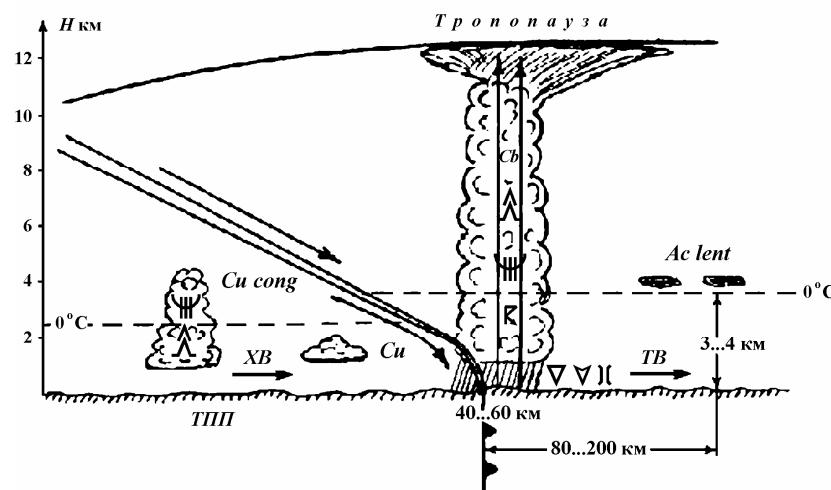


Рис. 8.12. Схема облачности холодного фронта 2-го рода

В теплое время года кучево-дождевые облака сопровождаются ливневыми осадками, часто с градом, шквалами, смерчами, грозами. В засушливых районах кучево-дождевые облака на ХФ 2-го рода не образуются, но часто наблюдаются пыльные бури.

В холодное время года фронт проходит с резким усилением ветра, снежными “зарядами”, иногда с грозами.

За фронтом сразу же наступает прояснение, но оно кратковременно, так как за основным фронтом часто движутся вторичные фронты или кучевообразные облака неустойчивой воздушной массы. Перед фронтом на удалении 80...200 км движутся высоко-кучевые чечевицеобразные или линзовидные облака (*Ac lent*), которые являются предвестниками приближения ХФ 2-го рода.

Условия полетов в зоне фронта обуславливаются кучево-дождевыми облаками. Особенно опасными такие фронты бывают летом днем в послеполуденные часы (в часы максимального прогрева подстилающей поверхности).

На картах погоды холодные фронты 1-го и 2-го рода различают по облачным системам.

Фронты окклюзии (ФО) – это такие атмосферные фронты, которые образуются при слиянии теплых и холодных фронтов (рис. 8.13). На картах погоды наносятся линией коричневого цвета или таким орнаментом

Слияние фронтов происходит в связи с тем, что ХФ движется значительно быстрее, чем ТФ. В момент слияния фронтов происходит сближение их облачных систем. Кучево-дождевые облака ХФ сливаются со слоистообразными облаками ТФ и приобретают скрытый характер. Теплый воздух при этом отделяется от земли и вытесняется вверх, а его место занимают сомкнувшиеся массы холодного воздуха. В зависимости от соотношения температур холодного воздуха перед теплым фронтом и за холодным фронтом при слиянии могут образовываться фронты окклюзии по типу теплого фронта (ТФО) или по типу холодного фронта (ХФО).

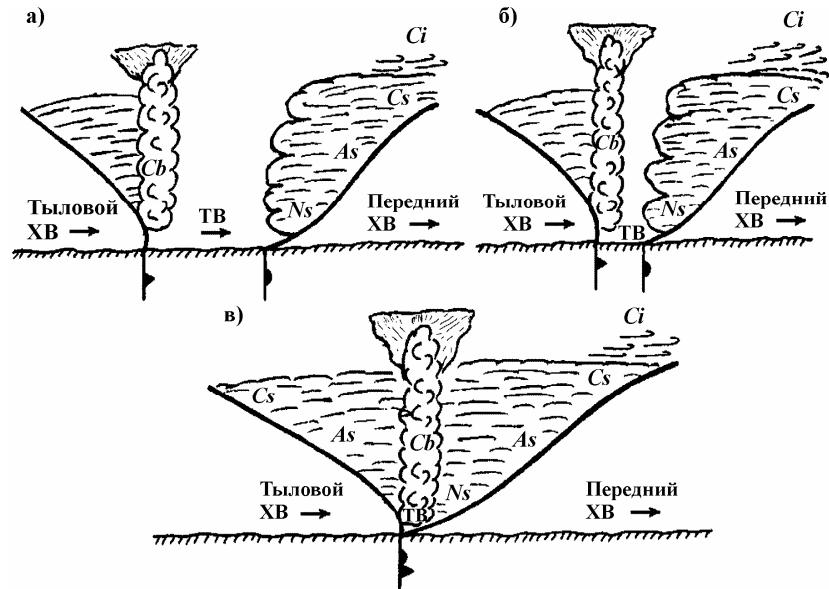


Рис. 8.13. Процесс образования фронта окклюзии

Теплый фронт окклюзии – это такой фронт окклюзии у которого тыловой холодный воздух является менее холодной воздушной массой, чем передний холодный воздух (рис. 8.14).

При слиянии фронтов тыловой холодный воздух натекает на передний более холодный воздух. Образуется сложная многоярусная система облачности. Выше точки окклюзии **располагаются** вытесненные вверх сомкнувшимися облака теплого и холодного фронтов. Ниже точки окклюзии, на самом ТФО, **образуются** слоисто-дождевые (иногда слоисто-кучевые) облака, под которыми в зоне обложных осадков образуются разорванно-дождевые облака и туманы. При этом обложные осадки чередуются с ливневыми (с преобладанием обложных). Вся зона осадков располагается впереди линии фронта и занимает полосу шириной 100...200 км летом и до 300 км зимой.

В теплое время года на фронте образуются скрытые грозы с ливнями, в облаках наблюдается сильное обледенение и сильная болтанка.

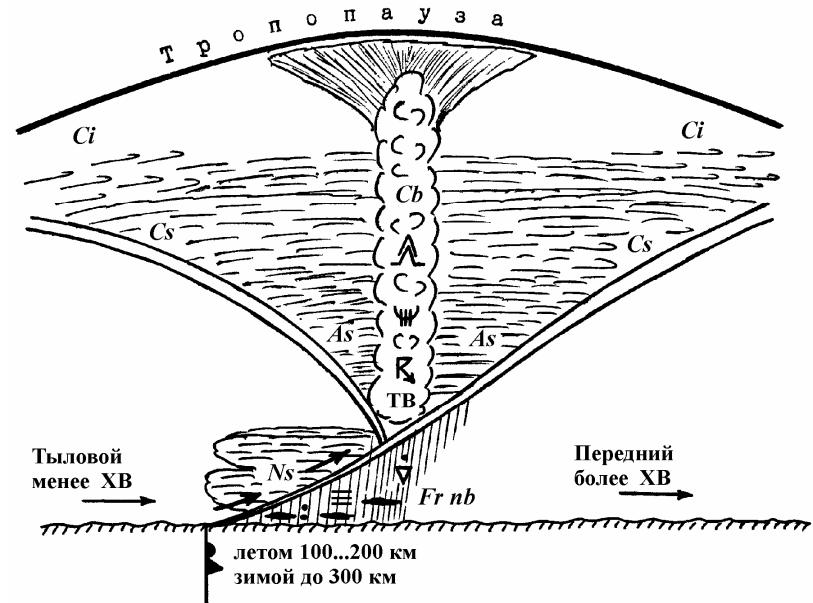


Рис. 8.14. Схема облачности теплого фронта окклюзии

Условия полета в зоне ТФО в основном такие же, как и на теплом фронте. На ТФО имеется большое количество безоблачных прослоек, которое увеличивается по мере старения (окклюдирования) фронта. Чаще ТФО наблюдаются в холодное время года, когда тыловым холодным воздухом является воздух морского происхождения.

Холодный фронт окклюзии – это такой фронт окклюзии, у которого тыловой холодный воздух является более холодной воздушной массой, чем передний холодный воздух (рис. 8.15).

При слиянии фронтов тыловой более холодный воздух подтекает под передний холодный воздух. В результате этого, ниже точки окклюзии за счет конвекции **образуются** кучево-дождевые облака, вершины которых летом могут достигнуть тропопаузы.

Выше точки окклюзии, как и в случае теплого фронта окклюзии, **располагаются** вытесненные вверх сомкнувшимися облака теплого и холодного фронтов. Под облаками, в зоне обложных осадков, образуются разорванно-дождевые облака и

иногда туманы. Зона осадков располагается как перед, так и за линией фронта. При этом ливневые осадки чередуются с обложными (с преобладанием ливневых).

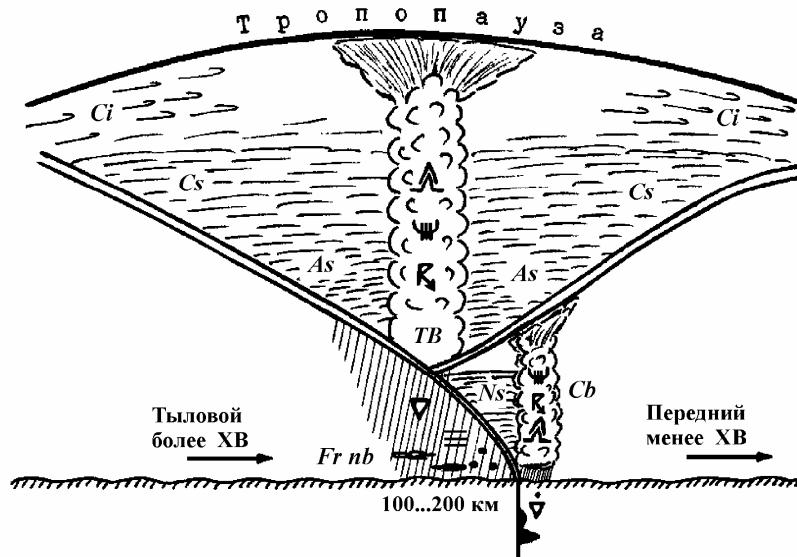


Рис. 8.15. Схема облачности холодного фронта окклюзии

Условия полетов в зоне ХФО более сложные и опасные, чем в зоне ТФО, так как здесь преобладают кучево-дождевые облака. Летом эти облака сопровождаются ливнями, шквалами, грозами, сильным обледенением и сильной болтанкой, зимой наблюдаются сильный снег, плохая видимость в снегопадах и сильная болтанка в облаках.

Эти фронты чаще встречаются в теплое время года. По мере окклюдирования все фронты окклюзии постепенно размываются.

Вторичные фронты (ВФ) – это разделы внутри одной и той же воздушной массы, но между различными по температуре порциями воздуха (рис. 8.16). На картах погоды вторичные холодные фронты обозначаются штриховой линией синего цвета или таким орнаментом , вторичные теплые фронты обозначаются штриховой линией красного цвета или таким орнаментом .

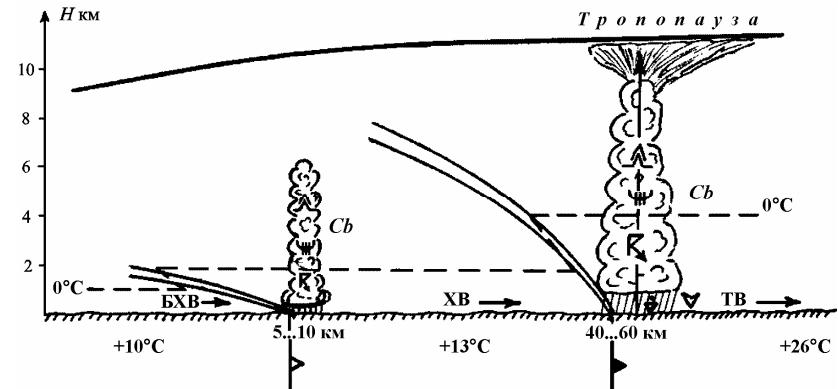


Рис. 8.16. Схема облачности вторичного холодного фронта

Чаще встречаются вторичные ХФ. Они образуются внутри арктического или умеренного воздуха при движении их к югу. Погода на вторичных фронтах в основном такая же, как и на основных фронтах, но из-за меньших контрастов температуры облачность менее развита как по вертикали, так и по горизонтали.

Летом на вторичных холодных фронтах наблюдаются ливни и грозы, а зимой снежные заряды, сильные ветры. Ширина зоны осадков обычно не превышает 5...10 км. Условия полетов такие же, как на основных фронтах.

Стационарные фронты (СФ) – это медленно движущиеся или неподвижные фронты. Средняя скорость движения 5...10 км/ч. На картах погоды обозначаются параллельными красной и синей линиями или таким орнаментом .

Эти фронты располагаются на периферии циклона или антициклона и на карте погоды они параллельны изобарам (рис. 8.17). Поэтому выше слоя трения воздушные массы движутся параллельно фронту, восходящие потоки отсутствуют и облачность не образуется. У поверхности земли за счет трения наблюдается небольшая сходимость воздушных масс к линии фронта, что приводит к натеканию теплого воздуха на холодный. Сходимость воздушных масс, подъем теплого воздуха, а, следовательно, и образование облачности происходит до верхней границы слоя трения.

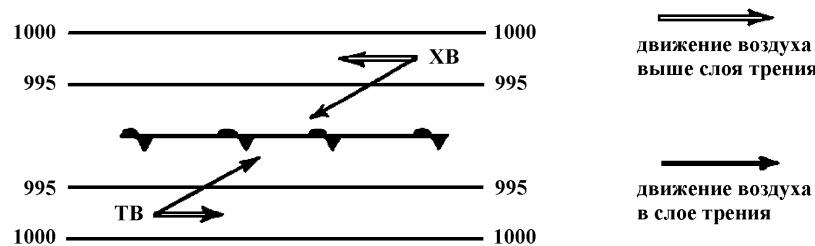


Рис. 8.17. Образование стационарного фронта

В холодное время года (рис. 8.18) на стационарном фронте из-за слабых восходящих движений образуются только слоистые и слоисто-кучевые облака.

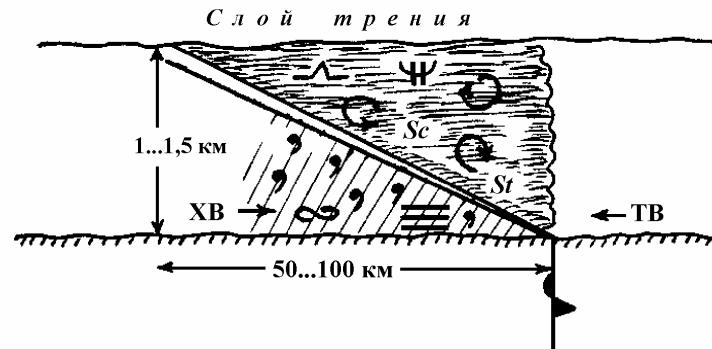


Рис. 8.18. Схема облачности стационарного фронта в холодное время года

Нижняя граница облачности 100...200 м и менее. Из слоистых облаков выпадают моросящие осадки. Иногда они переходят в туманы. Зона неблагоприятной погоды располагается вдоль линии фронта со стороны холодного воздуха и занимает полосу шириной 50...100 км. Низкая облачность и плохая видимость затрудняют или исключают взлет, посадку и визуальные полеты.

В теплое время года (рис. 8.19) при неравномерном нагревании подстилающей поверхности в дневные часы на стационарном фронте образуются кучево-дождевые облака с соответствующей погодой. Они достигают высоты 6...9 км.

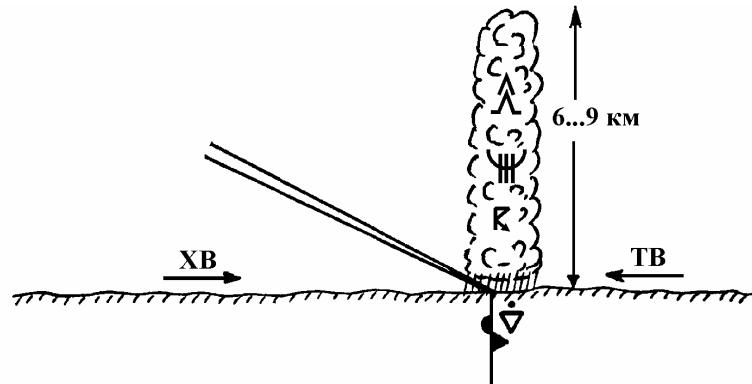


Рис. 8.19. Схема облачности стационарного фронта в теплое время года

Стационарные фронты существуют недолго и, как правило, переходят в теплые или холодные фронты.

8.4. БАРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, УСЛОВИЯ ПОГОДЫ И ПОЛЕТОВ В НИХ

Барическими системами называются системы распределения атмосферного давления, характеризуемые определенным расположением изобар на картах погоды. Различают главные барические системы, к которым относятся циклоны и антициклоны, а также вторичные – ложбины, гребни, седловины.

Циклоны. В приземном слое в области циклона воздух совершает вращательное движение против часовой стрелки (Северное полушарие), отклоняясь в сторону центра циклона (рис. 8.20). Благодаря этому, в циклоне наблюдается сходимость воздушных потоков и приток масс воздуха от периферии к центру.

Упорядоченный подъем в циклоне приводит к расширению и охлаждению воздуха, что приближает его к состоянию насыщения водяным паром, образованию облачности и осадков, т.е. к сложным метеорологическим условиям. В зависимости от вида подъема воздуха (конвекция, восходящее скольжение, турбулентность) в циклоне образуются облака всех типов: кучевообразные, слоистообразные и волнистообразные.

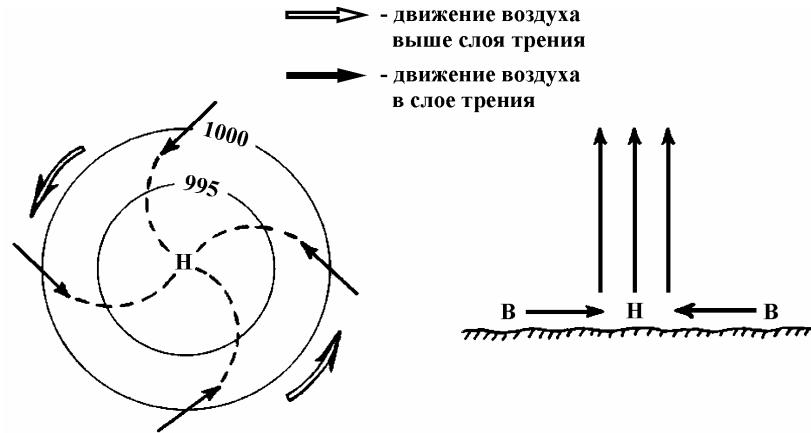


Рис. 8.20. Движение воздуха в циклоне

Циклоны представляют собой гигантские вихри с циркуляцией воздуха против часовой стрелки, размеры их колеблются от нескольких сотен до тысячи и более километров в диаметре. Продолжительность существования циклонов 7...10 суток. В систему циркуляции циклона вовлекаются огромные массы воздуха, обладающие колоссальными запасами кинетической энергии. Поэтому образование циклонов возможно лишь в тех случаях, когда в атмосфере существуют необходимые запасы энергии и складываются условия, при которых становится возможным переход накопленной потенциальной энергии в кинетическую. Такие условия в атмосфере образуются в областях с большими энергетическими контрастами, т.е. под высотными фронтальными зонами, особенно под теми их участками, где наблюдаются большие перепады температуры и давления.

Подавляющее число циклонов умеренных широт возникает на главных (основных) атмосферных фронтах в результате волновых колебаний их фронтальных поверхностей. Эти колебания происходят под действием ряда факторов, основными из которых являются отличие плотностей и скоростей перемещения воздушных масс, лежащих по обе стороны фронта. Волны теплого воздуха проникают своими вершинами в холодный воздух. Вокруг волны образуется завихрение, приводящее к падению давления у вершины волны. Передняя часть волны становится

участком теплого фронта, тыловая – холодного. При длине менее, 1000 км волна постепенно затухает, смещаясь вдоль фронта. При длине более 1000 км волны обычно развиваются в циклоны.

Циклоны могут быть низкими (до 3 км), средними (до 5 км) и высокими (более 5 км) барическими образованиями.

В своем развитии на атмосферных фронтах циклоны могут проходить четыре стадии:

- I – стадия волны, или стадия возникновения – от первых признаков развития циклона до появления одной замкнутой изобары, кратной 5 гПа;
- II – стадия молодого циклона – от оформления циклона и появления не менее двух замкнутых изобар до начала окклюзирования;
- III – стадия максимального развития – от начала окклюзирования до начала заполнения;
- IV – стадия заполнения (затухания) – от начала заполнения до полного исчезновения циклона как самостоятельного барического образования на приземной карте погоды.

Стадия волны (рис. 8.21). На этой стадии атмосферный фронт, лежащий в параллельных изобарах, испытывает искривление. На фронте возникает волна. У ее вершины перед теплым участком фронта давление падает, а в тыловой части, за холодным участком фронта – растет. Изобары у вершины волны искривляются, образуя ложбину, а затем и одну замкнутую изобару вблизи центра образования циклона. Облачная система остается такой же, как на участке фронта к моменту возникновения волны. Циклон прослеживается до высоты 1...2 км и существует до 1 суток.

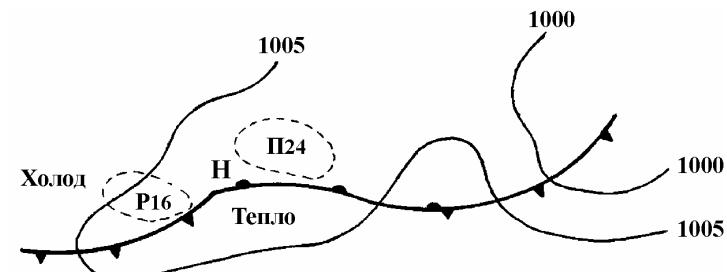


Рис. 8.21. Начальная стадия развития циклона (стадия волны)

Молодой циклон (рис. 8.22). Дальнейшее развитие фронтальной волны приводит к все большему искривлению линии фронта. В молодом циклоне образуется теплый сектор – широкий участок теплого воздуха между теплым фронтом и холодным фронтом. Давление в центральной и передней частях циклона продолжает падать. При этом падение давления перед теплым фронтом превышает рост за холодным фронтом. Циклон углубляется, появляются все новые и новые замкнутые изобары. При этом он развивается вверх, просматривается на карте АТ-700 гПа (примерно 3 км), существует 1...2 суток. Условия погоды в циклоне определяются свойствами воздушных масс и резко выраженным атмосферными фронтами.

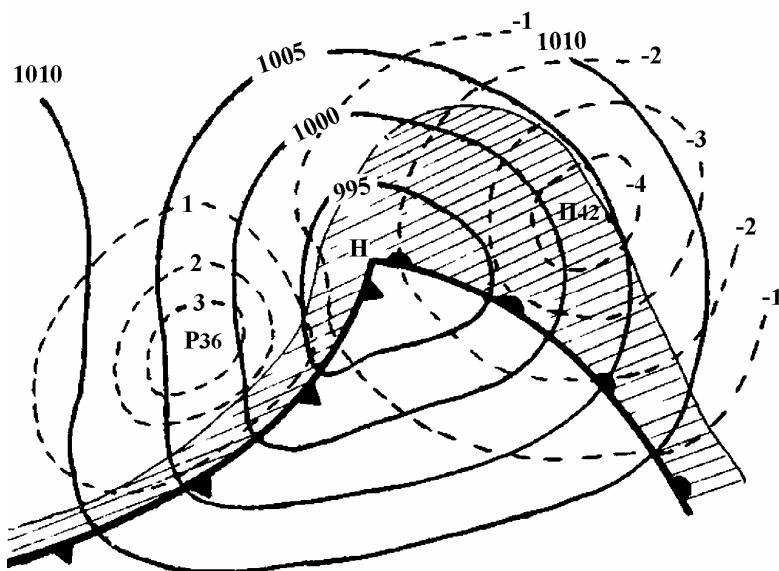


Рис. 8.22. Вторая стадия развития циклона (молодой циклон)

Стадия максимального развития (рис. 8.23). Давление в центре циклона достигает минимума, падение давления перед теплым фронтом становится равным росту за холодным фронтом. Происходит сужение теплого сектора и слияние фронтов, начинается процесс формирования фронта окклюзии. В момент окклюдирования циклона интенсивные восходящие

движения в области циклона приводят к увеличению облачности и расширению зоны осадков. Место, где происходит слияние фронтов, называется точкой окклюзии. По мере окклюдирования эта точка все больше удаляется от центра циклона к его периферии. С момента окклюдирования в центре циклона прекращается падение давления и начинается его рост, происходит заполнение циклона. Область наибольшего падения давления сохраняется перед точкой окклюзии, а область роста – за точкой окклюзии. Циклон прослеживается на картах АТ-500 гПа (примерно 5 км) и АТ-400 гПа (примерно 7 км). Продолжительность существования циклона в данной стадии составляет 1...2 суток.

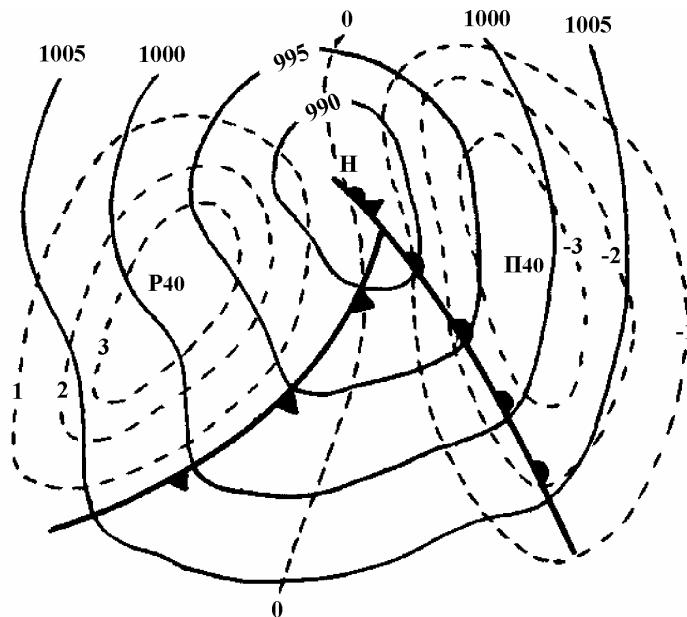


Рис. 8.23. Циклон, достигший максимального развития

Заполняющийся циклон (рис. 8.24). Вытеснение теплого воздуха вверх приводит к тому, что в окклюдированном циклоне все пространство у земли оказывается занятым холодным воздухом. Наблюдается быстрый рост давления в тылу циклона. При этом рост давления в тыловой части значительно превосходит

падение в передней части циклона. Циклон заполняется, его облачные системы размываются, редеют, осадки прекращаются. Начинается постепенное улучшение погоды. Длительность заполнения окклюдированного циклона до нескольких суток.

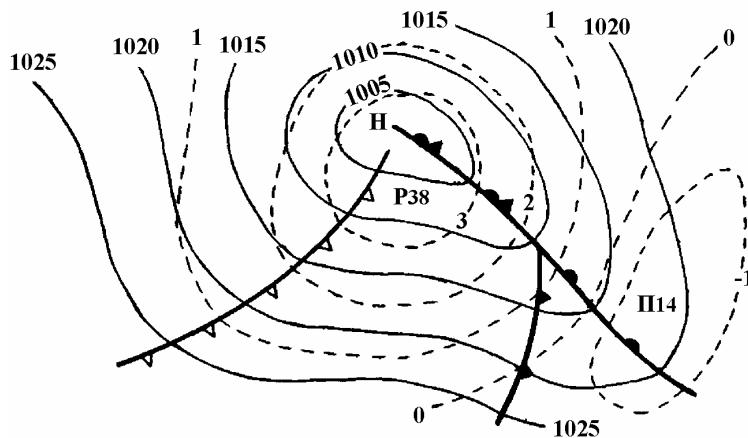


Рис. 8.24. Заполняющийся циклон

В зависимости от расположения воздушных масс и атмосферных фронтов, а также по условиям погоды и полетов площадь циклона можно разделить на четыре части: центральную, переднюю, тыловую и теплый сектор (рис. 8.25).

Центральная часть располагается в радиусе до 100 км от центра (в пределах первой замкнутой изобары) и характеризуется самыми неблагоприятными условиями погоды. Здесь наблюдается сплошная низкая облачность большой вертикальной протяженности (зачастую до тропопаузы). Выпадают интенсивные осадки, наблюдается пониженная видимость и сильные ветры, летом – сильные грозы, зимой – метели. В облаках происходит обледенение воздушных судов, особенно сильное в зоне температур 0...-10°C.

Передняя часть располагается перед теплым фронтом, который и обуславливает погоду данной части циклона. Наблюдаются преимущественно слоистообразная облачность, обложные осадки, частые туманы, общие метели. Летом ночью и утром – скрытые грозы.

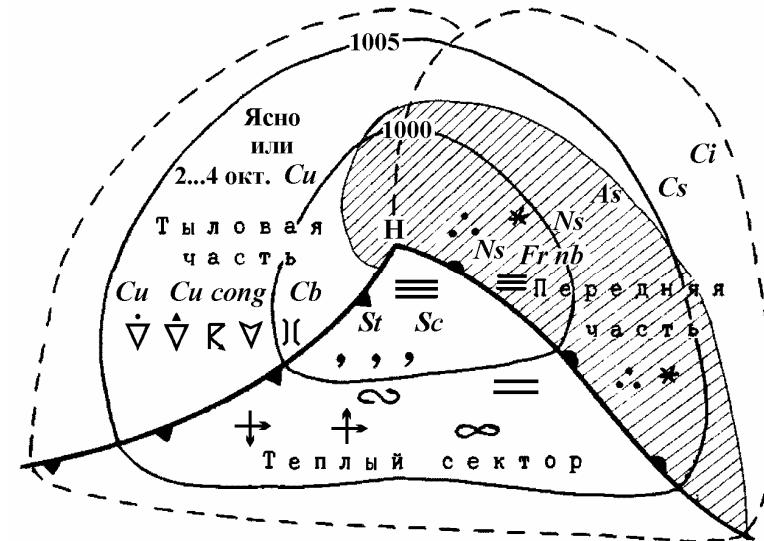


Рис. 8.25. Условия погоды в различных частях циклона

Тыловая часть располагается за холодным фронтом. Здесь находится холодный воздух, который в теплое время года становится неустойчивой воздушной массой с соответствующей погодой, а в холодное время года, как правило, устойчивой воздушной массой со слоисто-кучевыми облаками, из которых выпадает слабый снег. Наблюдаются сильные порывистые ветры, часто проходят вторичные фронты.

Теплый сектор – это часть циклона, расположенная между теплым и холодным фронтами. Здесь находится теплый воздух, который зимой является устойчивой воздушной массой, а летом – неустойчивой. Наиболее сложные условия наблюдаются в холодное время года, когда в теплом секторе образуются низкие слоистые и слоисто-кучевые облака, моросящие осадки и адвективные туманы.

Развитие циклонов на атмосферных фронтах обычно происходит сериями, состоящими из нескольких циклонов (3...4). В серии каждый циклон, как правило, идет по пути, лежащему южнее предыдущего циклона. Главный фронт после каждого циклона опускается к югу на расстояние примерно в

5° широты. Между отдельными циклонами серии наблюдаются области повышенного давления в виде антициклонов или гребней высокого давления (рис. 8.26).

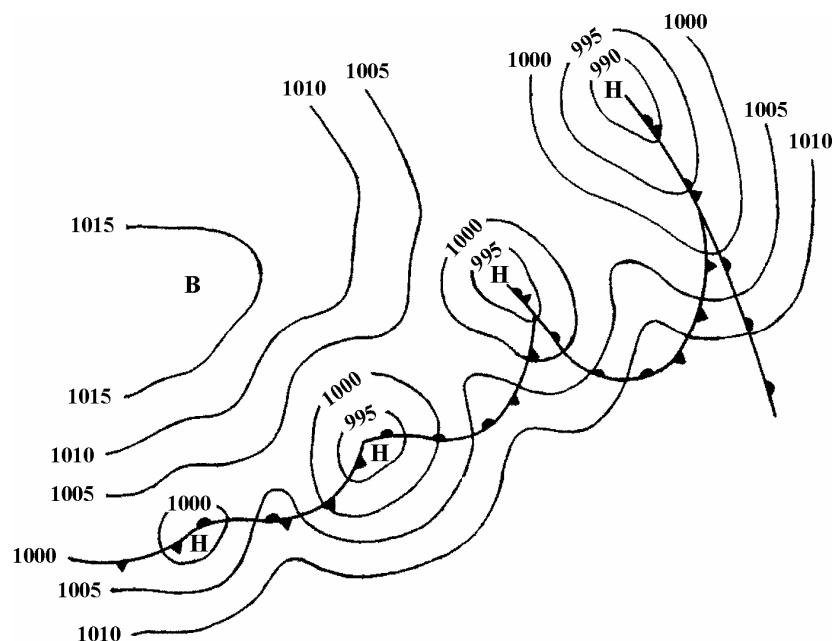


Рис. 8.26. Серия циклонов на атмосферном фронте

Циклоническую серию завершает обширный антициклон, сформированный из холодного воздуха. Циклоны серии чаще всего перемещаются с юго-запада на северо-восток. За год через Европу проходит в среднем около 65 серий циклонов. Между прохождением первых циклонов двух последовательных серий проходит в среднем 5,5 суток. Иногда над Европейской территорией наблюдается аномальное движение циклонов. Появляются так называемые “*ныряющие*” циклоны, которые движутся с севера или северо-запада на юг или юго-восток, а также “*черноморские циклоны*”, перемещающиеся с юго-запада или юго-востока на север или северо-запад.

Антициклоны. В антициклоне в приземном слое наблюдается расходимость воздушных потоков от центра к периферии, что вызывает нисходящие потоки над его центральной частью (рис. 8.27). Нисходящие потоки приводят к сжатию воздуха и нагреванию, что способствует удалению его от состояния насыщения водяными парами и уменьшению облачности. Поэтому в антициклоне, как правило, наблюдается ясная или малооблачная погода со слабыми ветрами в центре, которые усиливаются к периферии. Их диаметр может достигать нескольких тысяч километров.

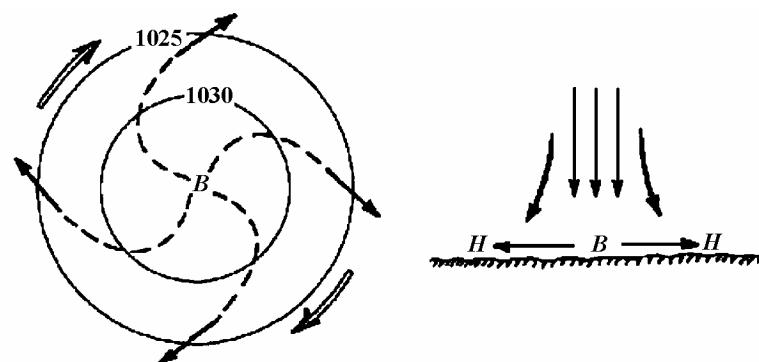


Рис.8.27.Движения воздуха в антициклоне

По аналогии с циклонами антициклоны могут быть низкими, средними и высокими барическими образованиями. Они могут быть подвижными и стационарными, сформированными в холодной или относительно теплой воздушной массе. Возникновение и развитие антициклонов тесно связано с развитием циклонов. Это единый процесс. В своем развитии антициклон проходит три стадии: молодой, максимально развитый, разрушающийся.

Молодой антициклон обычно формируется в холодном воздухе в тыловой части циклона и имеет вид гребня с интенсивным ростом давления. Прослеживается до высоты 3 км.

Максимально развитый антициклон – это высокое барическое образование. Распространяется до высоты не менее 4 км, а иногда до 12 км и более. На картах погоды он выражен несколькими замкнутыми изобарами. Давление в передней части антициклона растет, в тыловой – падает.

Разрушающийся антициклон. Нисходящие потоки ослабевают, давление в центральной части понижается, начинается его разрушение.

Продолжительность существования антициклона несколько недель и даже месяцев.

По условиям погоды и полетов антициклон можно разделить на 3 части (рис. 8.28): центральную часть, восточную и западную периферию

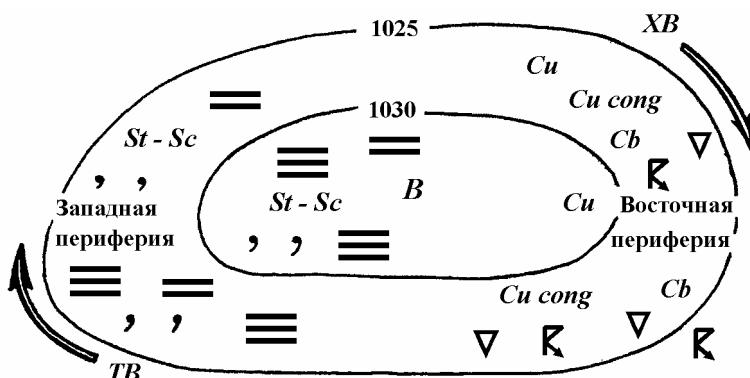


Рис. 8.28. Условия погоды в разных частях антициклона

В центральной части антициклона преобладает ясная или малооблачная погода с низкими температурами зимой и высокими – летом. При достаточной влажности зимой и летом ночью за счет сильного радиационного выхолаживания воздуха под слоем инверсии скатия могут образовываться радиационные туманы, а иногда низкие слоистые облака.

На восточной периферии антициклона воздух выносится с севера. В теплое время года образовывается неустойчивая воздушная масса, а в холодное – устойчивая воздушная масса с соответствующей погодой.

На западной периферии антициклона воздух выносится с юга. В холодное время года образуется устойчивая воздушная масса, в теплое – неустойчивая. Наиболее сложные условия наблюдаются в холодное время года, когда при достаточной влажности воздуха образуются адвективные туманы и низкие слоистые и слоисто-кучевые облака.

Ложбина – это узкая вытянутая полоса пониженного давления, расположенная на периферии циклона (рис. 8.29 а) или между двумя антициклонами (рис. 8.29 б).

Ось ложбины является областью сходимости приземных ветров, поэтому погода в ложбине, как правило, облачная с осадками и сильными ветрами. Часто вдоль оси проходят атмосферные фронты, которые и обуславливают погоду в данной ложбине.

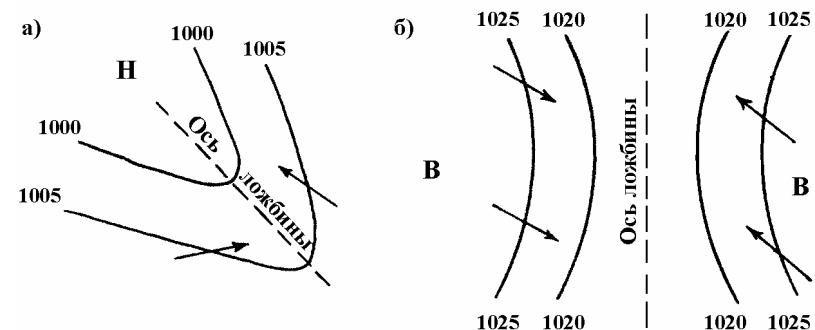


Рис. 8.29. Ложбина

Гребень – это узкая вытянутая полоса повышенного давления, расположенная на периферии антициклона (рис. 8.30 а) или между двумя циклонами (рис. 8.30 б).

Ось гребня является областью расходимости приземных ветров. Поэтому погода в гребне, как правило, ясная или малооблачная и обуславливается неустойчивой воздушной массой летом и устойчивой – зимой.

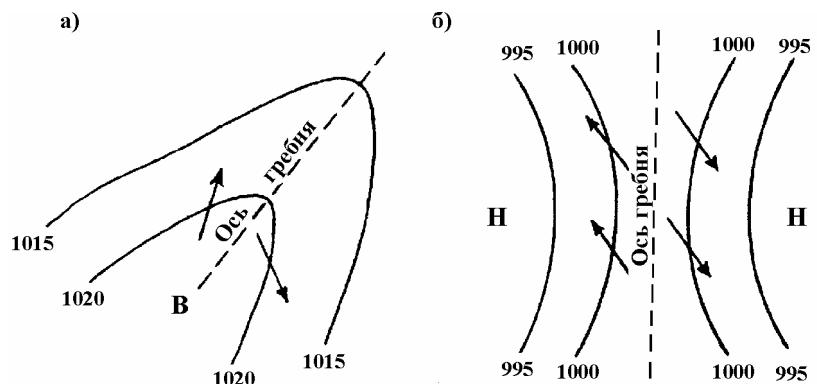


Рис. 8.30. Гребень

Седловина – это барическая система, которая образуется между двумя циклонами и антициклонами, расположеннымими крестообразно (рис. 8.31).

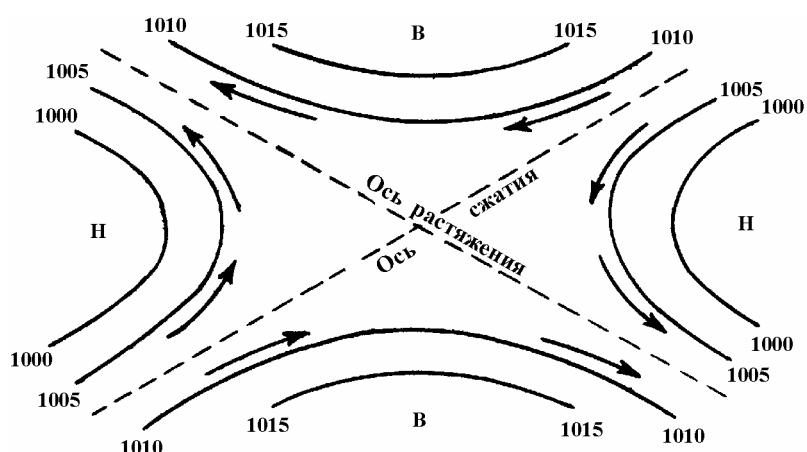


Рис. 8.31. Седловина

Если рассматривать градиентные ветры, связанные с циклонами и антициклонами, то в седловине можно провести две оси: сжатия и растяжения.

Вдоль оси сжатия происходит расходимость воздушных масс, поэтому преобладает ясная или малооблачная погода, которая обуславливается устойчивой воздушной массой зимой и неустойчивой – летом.

Вдоль оси растяжения происходит сходимость воздушных масс, поэтому здесь преобладает облачая погода, и иногда проходят атмосферные фронты. В центральной части седловины обычно наблюдаются слабые ветры неустойчивого направления. Условия погоды определяются устойчивой воздушной массой в холодное время года и неустойчивой – в теплое.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

- Что называется общей циркуляцией атмосферы (ОЦА)?
- Какие факторы определяют общую циркуляцию атмосферы?
- Что называется центрами действия атмосферы?
- Какие центры действия атмосферы называются перманентными (сезонными)?
- Какие циркуляционные зоны выделяют в системе общей циркуляции атмосферы?
- Чем определяются условия погоды в низкоширотной (умеренных, полярных) зонах общей циркуляции атмосферы?
- Что называется воздушной массой?
- От чего зависят условия погоды и полетов в воздушной массе?
- Какая воздушная масса называется теплой (холодной)?
- Какая воздушная масса называется устойчивой (неустойчивой)?
- Какие условия погоды и полетов наблюдаются в устойчивой (неустойчивой) воздушной массе?
- Когда над континентами образуется устойчивая (неустойчивая) воздушная масса?
- Что положено в основу географической классификации воздушных масс?
- Какие воздушные массы выделяются в соответствии с географической классификацией?
- Что называется атмосферным фронтом?
- Что называется теплым фронтом?
- Какие условия погоды и полетов наблюдаются в зоне теплого фронта в холодное (теплое) время года?
- Когда и почему образуются грозы на теплом фронте?
- Какие облака являются предвестниками теплого фронта?

20. Что называется холодным фронтом?
21. Какие условия погоды и полетов наблюдаются в зоне холодного фронта 1-го рода (2-го рода) в теплое (холодное) время года?
22. Какие облака являются предвестниками холодного фронта 2-го рода?
23. Какой фронт имеет самую большую скорость перемещения?
24. Что называется фронтом окклюзии?
25. Почему образуются фронты окклюзии?
26. Какие условия погоды и полетов наблюдаются в зоне теплого (холодного) фронта окклюзии?
27. Какой атмосферный фронт называется вторичным?
28. Какие условия погоды и полетов наблюдаются в зоне вторичного холодного (теплого) фронта?
29. Какой атмосферный фронт называется стационарным?
30. Какие условия погоды и полетов наблюдаются в зоне стационарного фронта в холодное (теплое) время года?
31. Что называются барических системами?
32. Что называется циклоном?
33. Какая погода, как правило, наблюдается в циклоне и почему?
34. Какое направление перемещения циклонов умеренных широт является преобладающим?
35. Какие циклоны называются "ныряющими" ("черноморскими")?
36. Какие существуют стадии развития циклонов?
37. На какие части делится циклон по условиям погоды и полетов?
38. Что обуславливает условия погоды и полетов в передней (тыловой, теплом секторе) части циклона?
39. Что называется антициклоном?
40. Какая погода, как правило, наблюдается в антициклоне и почему?
41. На какие части делится антициклон по условиям погоды и полетов?
42. Какие условия погоды и полетов наблюдаются в центральной части антициклиона, на его восточной и западной периферии в различное время года?
43. Что обуславливает условия погоды и полетов в ложбине?
44. Что обуславливает условия погоды и полетов в гребне?
45. Что обуславливает условия погоды и полетов в седловине?

ГЛАВА 9. ОПАСНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

К опасным для авиации метеорологическим явлениям и условиям погоды относятся:

Для полетов на высоких и средних уровнях:

- 1) гроза (затемненная или замаскированная в облаках);
- 2) частые грозы;
- 3) град;
- 4) линия шквала;
- 5) умеренная или сильная турбулентность в облаках и при ясном небе;
- 6) умеренное и сильное обледенение в облаках;
- 7) сильная песчаная или пыльная буря;
- 8) сильная горная волна;
- 9) вулканический пепел.

Для полетов на низких уровнях, в том числе для полетов по правилам визуального пилотирования (ПВП):

- 1) гроза;
- 2) град;
- 3) шквал;
- 4) смерч;
- 5) умеренная или сильная турбулентность;
- 6) умеренное или сильное обледенение в облаках;
- 7) обледенение любой интенсивности в осадках;
- 8) явления, ухудшающие видимость до значений менее 10 км;
- 9) горная волна;
- 10) вулканический пепел.

По аэродрому:

- 1) сильные ливневые осадки при видимости менее 1000 м;
- 2) гроза на аэродроме;
- 3) град;
- 4) сильная турбулентность;
- 5) сильный сдвиг ветра;
- 6) сильное обледенение;
- 7) шквал;
- 8) смерч;
- 9) пыльная и песчаная буря;
- 10) переохлажденные осадки;

- 11) переохлажденный туман;
- 12) ветер у земли, скорость которого, с учетом направления относительно ВПП, превышает предельные значения, установленные для данного аэродрома, а также ветер со скоростью 15 м/с и более любого направления;
- 13) все явления, вызывающие ухудшение видимости менее установленных для данного аэродрома предельных значений;
- 14) облачность (вертикальная видимость), высота которой ниже, установленных для данного аэродрома предельных значений, если ее количество 3 октанта и более;
- 15) понижение температуры до -30°C и ниже или ее повышение до +40°C и выше.

В соответствии с требованиями пункта 7.9 "Порядка принятия решения на вылет и прилет воздушных судов гражданской авиации Украины по правилам полетов по приборам" командир воздушного судна обязан прекратить снижение и уйти на второй круг, если на *аэродроме* наблюдаются опасные метеорологические явления, указанные в пунктах 1...11 данного перечня.

9.1. ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ В НИЖНЕМ СЛОЕ ТРОПОСФЕРЫ, ОПАСНЫЕ ДЛЯ ПОЛЕТОВ ИЛИ ИХ ОСЛОЖНЯЮЩИЕ

Туман – скопление продуктов конденсации и сублимации водяного пара у поверхности земли при видимости менее 1000 м.

Дымка – явление аналогичное туману при видимости 1...10 км.

Мгла – ухудшение видимости за счет взвешенных в воздухе частичек дыма, пыли. Видимость, как правило, более или равна 1 км, но бывает и несколько сотен и даже десятков метров.

Пыльная (песчаная) буря – ухудшение видимости за счет поднятых с земли пыли и песка, сопровождающееся сильным ветром равным или более 15 м/с. Видимость, как правило, менее 1000 м. При интенсивной песчаной буре песок может подниматься до высоты 1,5...2 км и выше.

Поземок (снежный, пыльный, песчаный) – снег, пыль или песок поднимаются ветром с поверхности земли до высоты менее 2 м над подстилающей поверхностью.

Низовая метель (снежная, пыльная, песчаная) – снег, пыль или песок поднимаются ветром с поверхности земли до высоты 2 м и более над подстилающей поверхностью.

Поземок и низовая метель чаще всего образуются в тылу циклона или на восточной периферии антициклона, где наблюдается адвекция холодного воздуха.

Общая метель – наблюдается выпадение снега из облаков, ветер 10 м/с и более, подъем с земли ранее выпавшего снега, видимость менее 1000 м. Общая метель часто наблюдается перед теплым фронтом (в передней части циклона). Аналогичное явление в зоне холодного фронта называется "*снежным зарядом*".

Гололед – это плотный, прозрачный или матовый лед, нарастающий на различных поверхностях при выпадении переохлажденных осадков. Как правило, гололед образуется при температурах 0°C...-3°C, реже до -16°C. Причина образования – замерзание переохлажденных капель дождя и мороси при столкновении с твердой поверхностью.

Гололедица – это лед на земной поверхности, образовавшийся после оттепели или дождя в результате наступления похолодания, а также вследствие замерзания мокрого снега, дождя или мороси при соприкосновении с сильно охлажденной поверхностью.

Шквал – внезапное, резкое и непродолжительное (в течение нескольких минут) усиление ветра более 15 м/с, сопровождающееся изменением его направления. Скорость ветра при шквалах нередко превышает 20...30 м/с. Отмечались случаи, когда скорость ветра достигала 40 м/с и более. Шквалы наблюдаются как при фронтальных, так и при внутримассовых грозах. В обоих случаях это вихревое движение воздуха с горизонтальной осью вращения, которое образуется в облаках и под облаками.

Смерч – сильный мелкомасштабный вихрь под кучево-дождовыми облаками с приблизительно вертикальной, но часто изогнутой осью. Смерч имеет вид темного облачного столба диаметром в несколько десятков метров. Давление воздуха в смерче понижено. Он опускается в виде воронки из нижнего

основания кучево-дождевого облака, навстречу которой с земной поверхности может подниматься другая воронка из брызг и пыли, соединяющаяся с первой. Наиболее узкая часть наблюдается в середине столба. Из одного облака может опускаться одновременно несколько смерчей. Воронка смерча представляет собой спиральный вихрь, состоящий из чрезвычайно быстро врачающегося воздуха. Вращательное движение в смерче может происходить как по часовой, так и против часовой стрелки. Скорость ветра в смерче достигает 100 м/с и более. Длина пути смерча обычно равна 15...30 км, ширина полосы разрушений составляет несколько десятков, а иногда и сотен метров; продолжительность существования – от нескольких минут до получаса; скорость перемещения – 40...60 км/ч.

9.2. ТУМАНЫ, УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Туманы, как и облака, состоят из водяных капель, ледяных кристаллов, либо их смеси. При температуре воздуха до -20°C наблюдаются преимущественно капельно-жидкие туманы; при температуре -20°C и ниже – смешанные туманы. Чисто кристаллические туманы обычно наблюдаются при температуре -40°C и ниже.

Для образования тумана необходимы следующие условия:

- насыщение воздуха водяным паром у поверхности земли до 100%;
- наличие ядер конденсации.

По интенсивности туманы подразделяются на:

- очень сильные (видимость менее 50 м);
- сильные (видимость от 50 до 200 м);
- умеренные (видимость от 200 до 500 м);
- слабые (видимость от 500 до 1000 м).

По синоптическим условиям образования туманы подразделяются на:

- внутримассовые;
- фронтальные.

Внутримассовые туманы, в зависимости от процесса, приводящего к насыщению воздуха водяным паром, делятся на:

- туманы охлаждения;
- туманы испарения.

Туманы охлаждения возникают вследствие понижения температуры воздуха. К ним относятся: радиационные, адвективные и адвективно-радиационные.

Радиационные туманы образуются вследствие радиационного выхолаживания подстилающей поверхности и охлаждения от нее приземного слоя воздуха. Эти туманы образуются при ясной или малооблачной погоде и слабом ветре (1...3 м/с). Поэтому они чаще всего наблюдаются в антициклонах, гребнях и седловинах. В теплую половину года радиационные туманы образуются ночью, перед восходом Солнца, преимущественно над низкими и заболоченными местами и имеют пятнистый характер. Вертикальная мощность таких туманов бывает от нескольких метров до нескольких десятков метров. После восхода Солнца и при усилении ветра до 5 м/с и более радиационные туманы летом быстро рассеиваются. В холодное время года при установившейся ясной погоде выхолаживание воздуха вследствие непрерывного излучения в течение ряда дней распространяется на большую высоту, поэтому толщина радиационных туманов достигает нескольких сотен метров. Зимой эти туманы занимают большие площади, сохраняются продолжительное время, иногда днем приподнимаются и переходят в низкие разорванно-слоистые облака. Наибольшая плотность радиационного тумана наблюдается у поверхности земли, где происходит самое сильное охлаждение воздуха, с высотой его плотность быстро уменьшается. В полете сквозь туман хорошо просматриваются реки, крупные наземные ориентиры, огни. Горизонтальная видимость у земли может ухудшаться до 100 м и меньше. Поэтому при входе самолета в слой тумана на посадке резко ухудшается наклонная видимость (рис. 9.1). Полет выше радиационного тумана не представляет особых затруднений.

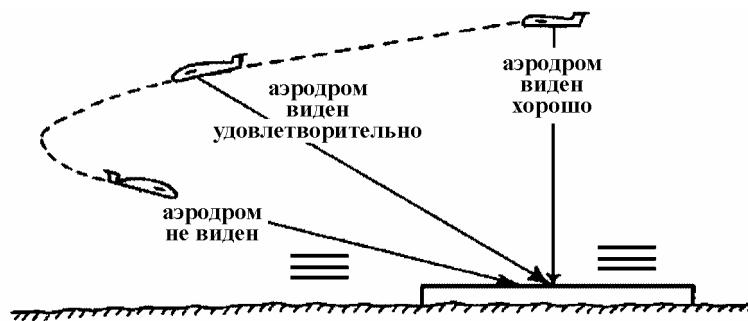


Рис. 9.1. Условия посадки при наличии радиационного тумана

Адвектические туманы образуются при движении теплого влажного воздуха по холодной подстилающей поверхности. Особенно часто адвектические туманы образуются у берегов морей в холодную половину года, когда воздух с теплой водной поверхности поступает на сушу, покрытую снегом (рис. 9.2).

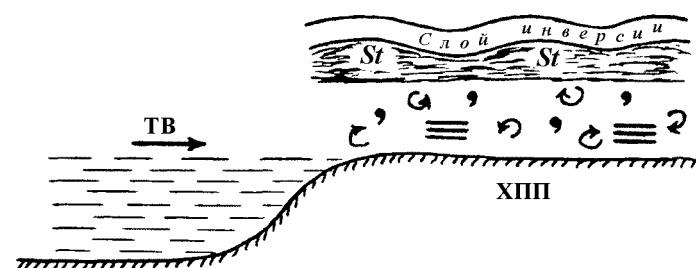


Рис. 9.2. Условия образования адвектических туманов

Приземный слой воздуха при этом охлаждается. Из-за турбулентного перемешивания воздух поднимается, расширяется и адиабатически охлаждается. Охлаждение распространяется до высоты 1,5...2 км. В охлажденном воздухе образуется туман, который с высотой уплотняется и может переходить в слоистые облака. Такие туманы часто сопровождаются моросящими осадками, занимают большие площади, могут возникать в любое время суток, сохраняются продолжительное время (до нескольких

суток), не рассеиваются при ветре 10...15 м/с. Как правило, они образуются в теплом секторе циклона и, иногда, на юго-западной периферии антициклона. Представляют большую опасность для авиации (особенно при полетах на местных воздушных линиях). Двигаясь со значительными скоростями (20...40 км/ч), они могут в течение короткого промежутка времени закрыть на большой территории основные и запасные аэродромы. Полет выше адвектического тумана возможен только по приборам и при благоприятных условиях погоды на аэродроме посадки.

Адвектические туманы образуются при совместном воздействии адвекции и радиационного охлаждения. Обычно они возникают в утренние часы, покрывают большие площади, отличаются большой плотностью и могут сохраняться продолжительное время. Как правило, образуются на юго-западной и западной периферии антициклона.

Фронтальные туманы возникают в зоне атмосферных фронтов, чаще всего в зоне теплых фронтов. Эти туманы образуются в клине холодного воздуха, в зоне обложных осадков (рис. 8.8).

Причины образования:

- насыщение ХВ за счет испарения выпадающих осадков;
- понижение фронтальной облачности (*Fr nb*) до земли;
- падение давления перед теплым фронтом (при понижении давления на 1 гПа температура воздуха уменьшается на 0,08°C).

Фронтальные туманы занимают полосу шириной 100...200 км. Иногда они сливаются с вышележащими облаками. В таких случаях туманы особенно опасны для полетов, т.к. вблизи приземной линии фронта от самой земли и до больших высот будут наблюдаться сложные условия погоды. Фронтальные туманы движутся вместе с фронтом и в одном пункте сохраняются 4...6 часов.

Туманы испарения образуются в результате притока водяного пара в окружающий воздух за счет испарения с водной поверхности, температура которой превышает температуру воздуха на 8°C...10°C. Туманы испарения наблюдаются над арктическими морями у кромки льдов, а зимой – и над внутренними морями, как Черное и Балтийское; также, особенно осенью, над реками и озерами.

9.3. ОБЛЕДЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ, ПРИЧИНЫ ЕГО ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕГО ИНТЕНСИВНОСТЬ

Обледенение – это отложение льда в полете на различных частях ВС. Необходимыми **условиями обледенения** являются:

- наличие в воздухе на высоте полета переохлажденных капель воды;
- отрицательная температура поверхности ВС.

Обледенение наблюдается при температурах $+2^{\circ}\text{C} \dots -50^{\circ}\text{C}$, наибольшая вероятность (98%) – в зоне температур $0^{\circ}\text{C} \dots -20^{\circ}\text{C}$.

Причинами обледенения являются:

- замерзание переохлажденных капель воды, сталкивающихся с поверхностью ВС при полете в облаках, осадках, тумане. Это основная причина обледенения;
- сублимация водяного пара на поверхности ВС. Этот процесс происходит в ясном небе, когда холодное ВС попадает в более теплый и влажный воздух. Такое положение может быть при быстром снижении из более холодных верхних слоев атмосферы в нижние, более теплые или при входе в слой инверсии. В ясную морозную погоду сублимация водяного пара на поверхности ВС может произойти и на земле, на стоянке.

Наибольшая вероятность обледенения в капельно-жидких облаках. К таким облакам относятся низкие подинверсионные слоистые и слоисто-кучевые облака. Они отличаются повышенной водностью, так как осадки из них, как правило, не выпадают или бывают слабыми.

В смешанных облаках обледенение зависит от соотношения капель и кристаллов. Там, где капель больше, вероятность обледенения увеличивается. К таким облакам относятся кучево-дождевые облака. В слоисто-дождевых облаках обледенение наблюдается при полете выше нулевой изотермы и особенно опасно в диапазоне температур $0^{\circ}\text{C} \dots -10^{\circ}\text{C}$, где облака состоят только из переохлажденных капель.

Наиболее тяжелое и интенсивное обледенение наблюдается при полете под слоисто-дождовыми и высокослоистыми облаками в зоне выпадающего переохлажденного дождя (это характерно для переходных сезонов, когда температура воздуха у земли колеблется в пределах $0^{\circ}\text{C} \dots -5^{\circ}\text{C}$).

В кристаллических облаках обледенение, как правило, отсутствует. В основном это облака верхнего яруса – перистые, перисто-кучевые, перисто-слоистые.

Степень обледенения зависит от времени пребывания ВС в зоне обледенения. На атмосферных фронтах обледенение представляет опасность из-за большой продолжительности полета, так как облака и осадки, связанные с фронтом, занимают, как правило, очень большие площади.

Интенсивность обледенения – это толщина отложения льда в единицу времени на передней кромке крыла. В зависимости от интенсивности обледенение подразделяется на:

	слабое	– скорость нарастания льда	менее 0,5 мм/мин;
	умеренное	– « –	0,5...1 мм/мин;
	сильное	– « –	более 1 мм/мин.

На интенсивность обледенения влияют следующие факторы:

Температура воздуха. Самое сильное обледенение происходит в интервале температур $0^{\circ}\text{C} \dots -10^{\circ}\text{C}$.

Водность облаков. Водность облака – это количество воды в граммах, содержащееся в 1 m^3 облака. Чем больше водность облаков, тем интенсивнее обледенение. Самое сильное обледенение наблюдается в кучево-дождевых и слоисто-дождевых облаках при водности более 1 g/m^3 .

Наличие и вид осадков. В облаках, из которых выпадают осадки, интенсивность обледенения уменьшается, так как уменьшается их водность. Самое сильное обледенение наблюдается в ледяном дожде. В мокром снеге обледенение слабое и умеренное, в сухом снеге обледенение отсутствует.

Размеры переохлажденных капель. Чем крупнее капли, тем интенсивнее обледенение. Чем крупнее капли, тем прямолинейнее траектория их движения, так как они обладают большой силой инерции и, следовательно, тем больше капель будет оседать и замерзать на выступающей поверхности крыла. Мелкие капли, имеющие небольшую массу, увлекаются воздушным потоком и вместе с ним огибают профиль крыла.

Профиль крыла ВС. Чем тоньше профиль крыла, тем интенсивнее обледенение. Это объясняется тем, что более тонкий профиль крыла вызывает разделение встречного набегающего потока на меньшем расстоянии от крыла, чем при толстом профиле. Такое место разделения потока делает линии

тока, обтекающие крыло, более крутыми, инерционные силы капель большими, в результате почти все капли, большие и малые, оседают на тонком ребре крыла. Этим же объясняется и тот факт, что лед быстрее всего появляется на таких деталях, как стойки, приемник скорости, антенны и т.д.

Скорость ВС. При скоростях полета **до 300 км/ч**, чем больше скорость полета, тем интенсивнее обледенение, так как ВС в единицу времени пролетает большее расстояние и, следовательно, сталкивается с большим количеством переохлажденных капель. Кроме того, с увеличением скорости полета возрастает инерция капель, и на поверхности ВС начинают замерзать не только крупные, но и мелкие капли и, следовательно, интенсивность обледенения увеличивается.

При полетах со скоростями **более 300 км/ч** за счет трения частиц воздуха о поверхность ВС и адиабатического сжатия встречного потока его лобовыми частями происходит кинетический нагрев поверхности ВС, который отодвигает начало обледенения в сторону более низких отрицательных температур, поэтому и вероятность и интенсивность обледенения уменьшаются.

В облаках кинетический нагрев составляет 50...60% от кинетического нагрева в безоблачном небе. Это объясняется тем, что в облаках часть тепла расходуется на испарение капель воды, которые оседают на поверхность ВС.

Полеты по маршруту на самолетах с ТРД и ТВД осуществляются на высотах 6...12 км. На этих высотах самолеты встречаются, главным образом, с кристаллическими облаками, обледенение в которых маловероятно. В основном на самолетах с ТРД и ТВД обледенение наблюдается в наборе высоты и при снижении на высотах ниже 5000 м.

Особенностью обледенения самолетов с газотурбинными двигателями является возможность обледенения в воздухозаборниках при температурах до +5°C. Здесь происходит расширение воздуха и его температура адиабатически понижается ниже 0°C. При обледенении двигателя отложение льда происходит на поверхности входного канала. В результате этого уменьшается входное сечение канала и, следовательно, тяга двигателя. Образовавшийся лед может срываться и попадать в компрессор, вызывая там механические повреждения.

9.3.1. ВИДЫ И ФОРМЫ ОТЛОЖЕНИЯ ЛЬДА НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Виды, характер и формы отложения льда весьма разнообразны и зависят от многих факторов, особенно от размера капель, температуры воздуха, наличия ледяных кристаллов, а также от режима полета.

Основными видами обледенения являются: лед, изморозь, иней. **По характеру отложения** лед бывает: прозрачный, матовый шероховатый, белый крупообразный.

Прозрачный лед образуется при полете в зоне переохлажденных осадков и в облаках, состоящих из крупных переохлажденных капель при температуре 0°C...-5°C (иногда до -10°C). Крупные капли, ударяясь о поверхность ВС, растекаются по профилю крыла, образуя сплошную водяную пленку, которая, замерзая, превращается в гладкий слой прозрачного льда. Это самое интенсивное обледенение. Прозрачный лед откладывается преимущественно на передних кромках крыла и стабилизатора, на носовом коке ВС и воздухозаборнике. Если толщина прозрачного льда небольшая, то он незначительно искажает профиль несущих поверхностей ВС, так как форма ледяного отложения в этом случае почти повторяет профиль крыла. При полете в зоне переохлажденного дождя, где льдообразование происходит очень быстро, прозрачный лед приобретает желобкообразный вид с неровной бугристой поверхностью и становится очень опасным, так как сильно искажает профиль крыла и нарушает его аэродинамику. Прозрачный лед очень крепко держится на поверхности ВС и тает только при полете в слое воздуха с положительной температурой.

Матовый шероховатый лед образуется при полете в смешанных облаках, состоящих из различных по величине капель воды, ледяных кристаллов и снежинок при температуре -5°C...-10°C (иногда до -20°C). Крупные капли после столкновения с поверхностью ВС растекаются и замерзают, а мелкие замерзают не растекаясь. Кристаллы и снежинки вмерзают в водяную пленку и образуют ледяное отложение с матовой шероховатой поверхностью, резко ухудшающей аэродинамические характеристики ВС. Матовый лед быстро и неравномерно оседает на выступающих, а иногда и на других

частях ВС (головках заклепок, болтах, антennaх и т.д.), имеет шероховатую поверхность, значительно искаивает обтекаемую форму ВС, очень крепко держится на его поверхности и поэтому является одним из наиболее опасных видов обледенения.

Белый крупообразный лед образуется при полете в облаках, состоящих из однородных очень мелких капель воды при температуре ниже -10°C . Мелкие капли при столкновении с поверхностью ВС быстро замерзают, не успев образовать водяную пленку. Благодаря их большой выпуклости и значительной силе сцепления водяных частиц сферическая форма мелких капель сохраняется, в образующемся льде остаются многочисленные воздушные пузырьки, лед становится оптически неоднородным и приобретает мутно-белый или совсем белый цвет. Лед пористый, к поверхности ВС пристает не очень плотно и в полете при вибрации легко слетает. При продолжительном полете и увеличении плотности льда он может представлять серьезную опасность.

Иzmорозь – это белое крупнозернистое кристаллическое отложение, которое образуется при полете в облаках, состоящих из мелких переохлажденных капель и ледяных кристаллов при температуре ниже -10°C . Иzmорозь возникает при замерзании мелких капель вместе с ледяными кристаллами. На поверхности ВС держится непрочно, стряхивается при вибрации частей ВС в полете, иногда сдувается встречным потоком. При большой продолжительности полета изморозь нередко достигает значительной толщины, имеет неровную форму отложения с рваными выступающими краями, отдельными иглами и столбиками. Это делает полет опасным.

Иней – это мелкокристаллический белый налет, который образуется в результате сублимации водяного пара на поверхности ВС. Наблюдается при быстром снижении ВС или при входе в слой инверсии при наборе высоты, когда холодное ВС попадает в теплый слой воздуха. Иней легко отделяется от поверхности вследствие вибрации ВС или воздействия воздушного потока. Образование инея прекращается после того, как ВС примет температуру окружающего воздуха, что при обычных скоростях бывает через 2...3 минуты после попадания ВС из холодного воздуха в более теплый. Непосредственной опасности для полета не представляет, но значительно

увеличивает интенсивность любого другого вида обледенения. При отложении на остеклении кабины пилота иней затрудняет визуальный обзор и управление ВС.

По форме отложения льда и его распределению по поверхности крыла различают (рис. 9.3):

- профильное обледенение (а);
- клинообразный ледяной нарост (б);
- желобкообразный лед (в);
- барьерный лед (г).

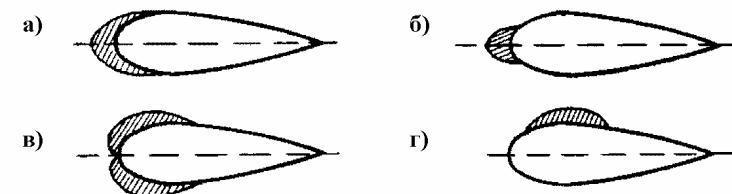


Рис. 9.3. Формы отложения льда на поверхности крыла

Профильное обледенение возникает в переохлажденном дожде или в облаках с большой водностью и крупными каплями. Лед откладывается на большой ширине профиля, и форма ледяного отложения почти повторяет профиль крыла. Это происходит потому, что крупные капли мало отклоняются от прямолинейного движения, оседают на широком участке и, замерзая, растекаются по профилю крыла. Лед прозрачный или непрозрачный. Этот вид обледенения вследствие своей большой интенсивности представляет серьезную опасность для полета, однако, встречается значительно реже по сравнению с другими видами.

Клинообразный ледяной нарост – это отложение льда на сравнительно узком участке передней кромки крыла, образующееся при полете в облаках, содержащих мелкие переохлажденные капли или их смесь с ледяными кристаллами. Лед обычно непрозрачный, поскольку мелкие капли быстро замерзают, сохраняя свою форму, почти не растекаясь по крылу.

Желобкообразный лед образуется при обледенении скоростных ВС, когда вследствие кинетического нагрева на передней кромке крыла температура положительная. В этом случае капли стекают по профилю крыла от передней кромки к его периферии с отрицательной температурой, где и замерзают. Обледенение такой формы обычно отмечается при температуре воздуха до -7°C . Желобкообразный лед сильно искажает профиль крыла и нарушает его аэродинамику. Иногда при определенных температурных условиях и микроструктуре облаков, при небольших скоростях полета, образуются ледяные отложения в форме пологого корытца, похожего на желобкообразный лед.

Барьерный лед – неровный ледяной валик на значительном удалении от передней кромки крыла. Он возникает при таких температурах, когда оседающая вода на передней кромке крыла скоростного самолета не полностью испаряется, а ее остаток стекает назад по профилю крыла и на некотором удалении замерзает.

9.3.2. ВЛИЯНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ЛЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Отложение льда на различных частях ВС оказывает существенное влияние на их летные качества и выполнение полета. Прежде всего, оно влияет на управляемость и устойчивость ВС.

При обледенении крыла нарушаются нормальное обтекание его воздушным потоком, срыв потока происходит при меньших углах атаки, максимальный коэффициент подъемной силы уменьшается и значительно возрастает коэффициент лобового сопротивления. Это приводит к уменьшению вертикальной скорости набора высоты, снижению потолка и максимальной скорости полета, увеличению расхода топлива и ухудшению маневренных качеств. Кроме того, отложение льда приводит к увеличению полетной массы ВС и, как следствие, к уменьшению избыточной тяги двигателей. Помимо этого, падение тяги двигателей происходит из-за обледенения их входных устройств и соответственного уменьшения расхода воздуха. Существенное

уменьшение мощности двигателей происходит при включении противообледенительной системы.

Влияние обледенения на летно-технические характеристики ВС видно из следующего примера. При образовании на крыльях и оперении самолета Ан-12 желобкообразного обледенения толщиной около 20 мм, скорость полета при постоянном режиме работы двигателей уменьшается на 50...70 км/ч. Включение противообледенительной системы этого самолета приводит к уменьшению скорости полета на 25...30 км/ч, скороподъемности на 1,5...2 м/с и потолка на 1200...1500 м. Таким образом, обледенение и работа противообледенительной системы, если в ней используется горячий воздух двигателей, оказывает заметное влияние на полет ВС по маршруту. Особенно велико это влияние на режимах взлета и посадки. Взлетать на обледеневшем ВС запрещается. Это объясняется тем обстоятельством, что уменьшение коэффициента подъемной силы и возрастание коэффициента лобового сопротивления из-за искажения отложением льда профиля крыла значительно увеличивает скорость отрыва и длину разбега. Кроме того, возрастает скорость сваливания, а так как управляемость ВС при обледенении ухудшается, возникает опасность входа в режим сваливания.

Особенно опасная ситуация возникает при посадке. На режимах предпосадочного планирования основное влияние на устойчивость и управляемость ВС оказывает обледенение стабилизатора. Режим полета при снижении по глиссаде и посадке характеризуется меньшими углами атаки крыла при выпущенных закрылках. Для компенсации пикирующего момента крыла угол атаки стабилизатора по отношению к хорде крыла устанавливается отрицательным. Величина этого угла обычно достаточно велика и близка к критическим значениям. Лед, откладываемый на передней кромке стабилизатора, на этом этапе посадки может привести к преждевременному срыву потока на нижней поверхности стабилизатора. В результате уменьшится отрицательная подъемная сила горизонтального оперения и нарушится продольная балансировка ВС. У него возникает тенденция к пикированию, которая сопровождается приращением отрицательной перегрузки. Происходит, так называемый, клевок. Для некоторых типов ВС это проявляется

внезапно и резко, для других достаточно плавно, что позволяет пилоту предпринять правильные действия для вывода ВС из клевка.

При отложении льда на передних кромках рулей, замерзании влаги в стыках секций подкрылков, закрылков и т.п., может произойти их заклинивание в полете и отказ в работе.

Серьезную опасность представляет обледенение двигателей ВС. Наиболее часто отложение льда происходит на воздухозаборнике, на деталях входного канала двигателя и его лопатках. Наибольшее количество льда обычно откладывается на неподвижных частях двигателей. В результате отложения льда на входном устройстве двигателя уменьшаются размеры проточной части, секундный расход воздуха и степень повышения его давления в компрессоре. Это вызывает падение мощности двигателя и может служить причиной помпажа компрессора и самовыключения двигателя. Отложение льда на лопатках двигателя вызывает увеличение его вибрации, что может привести к разрушению подшипников из-за дисбаланса ротора турбокомпрессора. Куски льда, срываемые с лопаток и неподвижных частей входного устройства, ударяют по лопаткам, деформируя и нередко разрушая их.

У поршневых и турбовинтовых ВС определенную опасность представляет обледенение лопастей двигателей. Отложение льда происходит, в первую очередь, на втулке и прилегающих к ней частях лопастей, так как вследствие кинетического нагрева их концы имеют более высокую температуру. Обледенение лопастей вызывает тряску двигателей, а куски льда, срываемые с них, могут серьезно повредить обшивку ВС, остекление кабины или другие элементы конструкции.

Обледенение отрицательно сказывается на функционировании радиосредств. Отложение льда на антенах затрудняет радиосвязь. Сильное обледенение может привести к замыканию их на корпус ВС или обрыву, вследствие чего радиосвязь прекращается и наступает отказ в работе радионавигационного оборудования. Если в кожух рамки радиокомпаса попадает влага и замерзает там, радиокомпас выходит из строя.

При обледенении приемника воздушного давления могут выйти из строя такие важные пилотажные приборы, как указатель скорости, высоты, угла атаки, числа M , скорости

набора высоты. Это может привести к непроизвольному выводу ВС на опасные режимы полета.

Покрытие льдом остекления кабины пилотов ухудшает обзор и затрудняет выполнение посадки.

Способы борьбы с обледенением в полете подразделяются на активные и пассивные.

Активные способы борьбы заключаются в предотвращении образования льда или его удалении с помощью противообледенительных систем. В зависимости от принципа действия системы делятся на термические и химические.

Термические противообледенительные системы основаны на разогреве обледеневающей поверхности до температуры выше 0°C. Наиболее широко применяются воздушно-тепловые системы, использующие для нагрева горячий воздух двигателей. Они используются для обогрева передних кромок крыльев, киля, воздухозаборников, разделительных перегородок воздушных каналов и других входных устройств двигателей.

Другим типом термических систем являются электротепловые, которые в качестве рабочей части используют токопроводящий слой. Этот слой располагается между двумя электроизоляционными слоями, один из которых соприкасается с нагреваемой поверхностью. В целях сокращения расхода электроэнергии обогрев производится импульсами. Электротепловые противообледенительные системы используются для обогрева носка стабилизатора, остекления кабины и лопастей ВС.

Химические системы основаны на понижении температуры замерзания воды. Для этого используются жидкости, имеющие достаточно низкую температуру замерзания, хорошо смачивающие, не коррозионные и не портящие лакокрасочные покрытия. К таким жидкостям относятся спирты, смеси спирта с глицерином и т.п. Противообледенительные химические системы используются для защиты от обледенения винтов, плоскостей и хвостового оперения. Существенным недостатком этих систем являются сложность конструкции, ограниченность действия во времени и необходимость иметь на борту ВС довольно значительный запас жидкости. Так, например, расход спирта в противообледенительных системах на нормальном режиме составляет 1...1,5 л/мин.

Пассивные способы борьбы с обледенением предусматривают необходимые меры для обхода зон обледенения или своевременного выхода из них.

9.3.3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЛЕТОВ И УПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В ЗОНАХ ОБЛЕДЕНИЯ

1. Перед полетом изучить метеообстановку, используя приземные синоптические карты, карты барической топографии, аэрометеорологические диаграммы.
2. Запрещается взлетать на ВС, поверхность которых покрыта льдом, снегом или инеем.
3. Полеты в условиях обледенения на ВС, не имеющих допуска к эксплуатации в этих условиях, **запрещаются**.
4. В полете вести наблюдение за температурой наружного воздуха и перед входом в облака и осадки при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ и ниже включать противообледенительную систему.
5. Зимой из зоны обледенения уходить вверх, в сторону более низких отрицательных температур, летом – вниз, в сторону положительных температур.
6. Признаками обледенения большой интенсивности является быстрое нарастание льда на стеклоочистителях и уменьшение приборной скорости.
7. Если принятые экипажем меры по борьбе с обледенением оказываются не эффективными и безопасное продолжение полета не обеспечивается, КВС обязан, применив сигнал срочности, по согласованию с диспетчером, изменить высоту или маршрут для выхода в район, где возможно безопасное продолжение полета, или принять решение об уходе на запасной аэродром.
8. При заходе на посадку в условиях обледенения экипаж должен проверить нет ли льда на крыльях и оперении. При отсутствии льда посадка производится обычным способом. В случае отказа противообледенительной системы и невозможности выхода из зоны обледенения при наличии льда на стабилизаторе (и если невозможно проверить, есть ли на нем лед) экипаж должен быть готов к возможности

возникновения срыва потока на горизонтальном оперении. Одной из первых предупредительных мер является уменьшение угла отклонения закрылков. Посадку производить с уменьшенным углом отклонения закрылков, не допуская резкого пилотирования.

9. Всегда необходимо придерживаться основного принципа: **время нахождения ВС в условиях обледенения должно быть минимальным.**

9.4. ТУРБУЛЕНТНОСТЬ АТМОСФЕРЫ, ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЕЕ ИНТЕНСИВНОСТЬ

Воздух представляет собой чрезвычайно подвижную среду, в которой движение частиц обычно имеет беспорядочный или, так называемый, турбулентный характер.

Турбулентность (от латинского слова “турбо” – завихрения, водоворот) – это такое состояние атмосферы, при котором образуются вихри разных размеров, возникают горизонтальные и вертикальные порывы ветра. Оси турбулентных вихрей быстро меняют свое положение в пространстве и бывают ориентированы в самых различных направлениях.

С турбулентностью атмосферы связаны порывистость ветра, перенос по вертикали водяного пара, ядер конденсации и других материальных частиц; она способствует вертикальному переносу тепла из одних слоев в другие, обмену количества движения между различными слоями и т.п.

Турбулентный обмен оказывает существенное влияние на условия формирования, эволюцию и микрофизическое строение облаков, туманов и осадков, с которыми непосредственно связаны сложные метеорологические условия полетов.

Турбулентность оказывает существенное влияние на распространение звуковых и электромагнитных волн (особенно ультракоротких волн). Но особенно велико влияние турбулентности на полет ВС. Во время полета в турбулентной зоне, при пересечении атмосферных вихрей ВС подвергается воздействию вертикальных и горизонтальных порывов ветра. При этом изменяется угол атаки крыла и подъемная сила, происходит

тряска и вибрация, воздушное судно испытывает неупорядоченные броски вверх и вниз, создаются перегрузки, т.е. возникает болтанка ВС.

Болтанка – это беспорядочные колебания воздушного судна, сопровождающиеся перегрузкой при полете в турбулентной атмосфере.

Зависимость приращения перегрузки самолета Δn от различных факторов выражается следующим образом:

$$\Delta n = \pm \frac{\rho W_{\text{вп}} V \frac{\Delta C_y}{\Delta \alpha}}{2 \frac{G}{S}}, \quad (9.1)$$

где: ρ – плотность воздуха;

$W_{\text{вп}}$ – эффективная скорость вертикального порыва ветра, которая определяется как результат воздействия на воздушное судно вертикального порыва, изменяющегося по линейному закону от нуля до W_{max} ;

V – скорость полета;

G – вес самолета;

S – площадь крыла;

α – угол атаки;

C_y – коэффициент подъемной силы;

$\frac{\Delta C_y}{\Delta \alpha}$ – изменение коэффициента подъемной силы в зависимости от приращения угла атаки.

Из формулы видно, что приращение перегрузки, а значит и болтанка ВС, зависят от:

- турбулентного состояния атмосферы ($\rho, W_{\text{вп}}$);
- режима полета ($V, \frac{\Delta C_y}{\Delta \alpha}$);
- конструкции самолета (G, S).

Это означает, что при одной и той же интенсивности атмосферной турбулентности различные типы ВС будут испытывать болтанку различной интенсивности.

При прочих равных условиях болтанка тем интенсивнее, чем больше скорость полета. Поэтому в руководствах по летной эксплуатации ВС через число M задаются максимально допустимые скорости полета в спокойной и турбулентной атмосфере.

Интенсивность болтанки оценивается приращением перегрузки (Δn), выраженным в долях ускорения свободного падения (g).

При полете на эшелоне:

- умеренная болтанка (Δ) наблюдается при $\Delta n \pm 0,5g \dots \pm 1g$;
- сильная болтанка (Δ) наблюдается при $\Delta n > \pm 1g$.

При взлете и посадке:

- умеренная болтанка наблюдается при $\Delta n \pm 0,3g \dots \pm 0,4g$;
- сильная болтанка наблюдается при $\Delta n > \pm 0,4g$.

В зависимости от причин образования турбулентность подразделяется на термическую, динамическую, орографическую.

Термическая турбулентность (конвекция) возникает из-за неравномерного прогрева подстилающей поверхности или в результате натекания холодного воздуха на теплую подстилающую поверхность при больших вертикальных температурных градиентах. Над континентом наблюдается летом, днем. При термической турбулентности возникают как беспорядочные, так и упорядоченные восходящие и нисходящие потоки воздуха. Ее интенсивность зависит от влажности воздуха. В сухом воздухе конвекция развивается до высоты 2...3 км и вызывает в этом слое слабую или умеренную болтанку. Во влажном воздухе конвекция развивается до больших высот, иногда до тропопаузы, и приводит к образованию мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков. В этом случае болтанка сильная, особенно в облаках, и наблюдается от земли до верхней границы облаков.

Динамическую турбулентность вызывают следующие причины:

- трение движущегося воздушного потока о шероховатости рельефа на земной поверхности;
- неоднородность характера воздушного потока по направлению и скорости;
- волновые движения в слоях инверсии и изотермии.

Трение о земную поверхность в равнинной и холмистой местности обуславливает возникновение динамической турбулентности в нижнем слое тропосферы (до 1...1,5 км). Такая турбулентность вызывает слабую и умеренную болтанку. Чем сильнее воздушный поток и больше шероховатость подстилающей поверхности, тем интенсивнее динамическая турбулентность *в приземном слое*.

В свободной атмосфере динамическая турбулентность возникает в слоях, где наблюдается большая изменчивость характеристик ветра по высоте и/или по горизонтали. Для количественной характеристики такой турбулентности вводится понятие *сдвиг ветра* – изменение вектора ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие потоки. Опасная турбулентность образуется при вертикальных сдвигах ветра более 3 м/с на 100 м высоты и/или горизонтальных сдвигах ветра более 6 м/с на 100 км расстояния. Трассы турбулентности в большинстве случаев имеют ограниченные размеры. Их толщина чаще всего 300...600 м, горизонтальная протяженность 60...80 км. Очень редко зона турбулентности охватывает слой толщиной 2...3 км и имеет протяженность до 1000 км. Чем интенсивнее турбулентная зона, тем меньше ее толщина и протяженность. Эти зоны неустойчивы во времени и могут исчезать через 30...50 минут после их возникновения. В свободной атмосфере динамическая турбулентность чаще всего развивается там, где наблюдается сходимость (конвергенция) и расходимость (дивергенция) воздушных потоков, на границах струйного течения, в зоне тропопаузы.

Турбулентность, наблюдающаяся в атмосфере на высотах более 5 км при отсутствии кучевообразных облаков, называется *турбулентность при ясном небе – ТЯН (CAT – clear air turbulence)*.

ТЯН относится к опасным для авиации метеоявлениям в силу внезапности (неожиданно для экипажа) воздействия на ВС. Известны авиационные происшествия из-за попадания ВС при безоблачном небе в зоны очень сильной турбулентности. ТЯН чаще всего связана со струйными течениями. Горизонтальные размеры ТЯН изменяются в довольно больших пределах, достигая, в отдельных случаях, нескольких сотен километров; толщина ТЯН, как правило, не превышает 1000 м.

Динамическая турбулентность, возникающая *в слоях инверсии и изотермии*, имеет вид чередующихся восходящих и нисходящих потоков.

Орографическая турбулентность возникает в горных районах. Воздушный поток при обтекании горных препятствий деформируется и, при определенных условиях, это приводит к образованию зон с повышенной турбулентностью. Повторяемость сильной турбулентности в горных районах при одних и тех же метеорологических условиях значительно выше, чем в равнинной местности.

Характер и интенсивность турбулентности зависят от формы и размеров горного препятствия, от того, как направлен воздушный поток по отношению к препятствию, от скорости ветра и изменения ее с высотой, от температурной стратификации.

Турбулентность, вызывающая интенсивную болтанку ВС, образуется в тех случаях, когда:

- воздушный поток направлен перпендикулярно к горному препятствию;
- скорость ветра у земли 8...10 м/с и с высотой ветер усиливается;
- выше горного препятствия наблюдается устойчивая стратификация атмосферы (имеет место слой инверсии, изотермии или медленного понижения температуры с высотой).

Опасная турбулентность возникает (рис. 9.4):

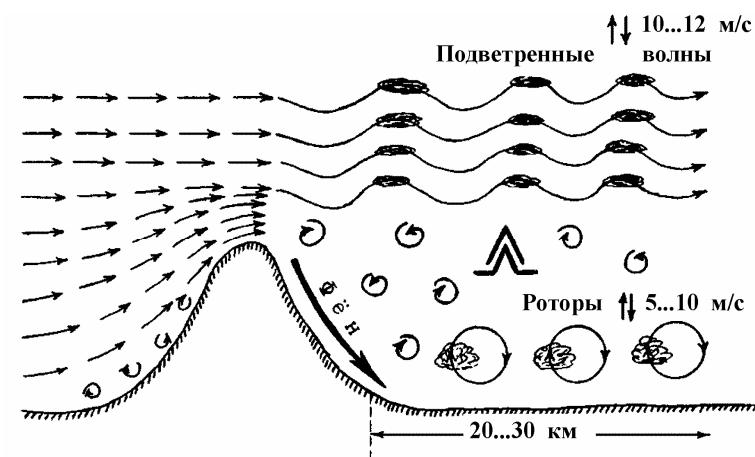


Рис. 9.4. Турбулентность в горных районах

- над вершиной горы в слое 500...1000 м. Здесь поток сжимается, усиливается, в результате чего вертикальные сдвиги ветра увеличиваются до 5 м/с и более на 100 м высоты;
- с подветренной стороны гор, где образуются сильные нисходящие потоки (*фён*), совокупность вихрей разных размеров (роторы), а выше хребта – подветренные волны.

Зона повышенной турбулентности распространяется по горизонтали в направлении воздушного потока на 20...30 км от горного препятствия.

Упорядоченные нисходящие воздушные потоки (*фён*), возникающие на подветренной стороне, приводят к резкой потере высоты ВС на несколько сотен метров. Известны летные происшествия, связанные с указанным явлением.

Роторы возникают чаще всего за горными препятствиями высотой до 1500 м. Они представляют собой цилиндрические вихри диаметром 500...1000 м с горизонтальными осями, направленными параллельно горному хребту. В отчетливо выраженных роторах скорости вертикальных движений 5...10 м/с, поэтому в роторах наблюдается сильная болтанка, аналогичная болтанке в кучево-дождевых облаках. Иногда в верхней части роторного вихря образуются разорванно-кучевые облака с небольшим вертикальным развитием (напоминают шляпку гриба). Роторы располагаются в виде нескольких (чаще трех) параллельных хребту полос. Периодически роторы “отрываются” и, перемещаясь вместе с потоком, турбулизируют воздух вдали от гор, а на их месте создаются новые.

Подветренные волны распространяются в атмосфере до высоты в 4...5 раз превышающей высоту горного препятствия и могут наблюдаться во всей толще тропосферы, а иногда распространяться и в нижнюю стратосферу. Длина таких волн 5...80 км, амплитуда 100...150 м, вертикальные скорости могут достигать 10...12 м/с. При полете в подветренных волнах возникает циклическая болтанка, вызываемая чередующимися восходящими и нисходящими движениями в гребнях и ложбинах волн. Наиболее опасной бывает болтанка в коротких волнах с большой амплитудой. При достаточной влажности воздуха в гребнях волн образуются малоподвижные гряды облаков, параллельные хребту, чаще это чечевицеобразные облака. Такие облака могут располагаться в несколько ярусов,

один ярус над другим. В этих случаях подветренные волны заметны визуально. В области образования подветренных волн наблюдаются резкие колебания атмосферного давления. Вследствие этого показания барометрического высотомера часто оказываются ненадежными. Так, при полетах отмечались ошибки в определении высоты до 300 м и более.

Наряду с турбулентностью, на условия полетов в горных районах влияет эффект общего подъема воздуха на наветренной и опускание его на подветренной стороне. Поэтому ВС на наветренной стороне хребта “тянет” кверху, а на подветренной “прижимает” к земле.

Влияние горного хребта на воздушный поток начинает сказываться на значительном расстоянии. При высоте хребта 1000 м воздушный поток начинает восходящее движение на расстоянии 60...80 км от него.

9.4.1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В АТМОСФЕРЕ

Прогнозирование турбулентных зон в атмосфере, в которых может возникать болтанка воздушных судов, является наиболее трудным, по сравнению с прогнозом других метеоэлементов и явлений. Это объясняется отсутствием систематических наблюдений за болтанкой, большой неустойчивостью турбулентных зон во времени и пространстве. Такой прогноз затруднен также тем, что в одних и тех же турбулентных образованиях различные ВС будут испытывать разные перегрузки а, следовательно, и разную болтанку в зависимости от их скорости, полетного веса и аэродинамических характеристик.

Методы прогнозирования зон болтанки в атмосфере строятся на анализе косвенных данных, которые определяют развитие турбулентности или указывают на ее существование при разной синоптической обстановке. Прогноз зон болтанки составляется на основе анализа таких данных, как вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра, вертикальный температурный градиент, форма облачности, наличие высотных фронтальных зон и струйных течений, зон сходимости и расходности воздушных потоков, положение и наклон тропопаузы.

Зоны турбулентности встречаются во всей толще тропосферы и в стратосфере. Турбулентность максимальна в нижней тропосфере, минимальна в средней, а затем опять возрастает в верхней тропосфере. Местоположение турбулентных зон связано с теми районами, где наблюдаются повышенные значения вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра, а также вертикального температурного градиента. Обычно они наблюдаются в тех слоях атмосферы, где указанные характеристики претерпевают существенные изменения.

Для определения вероятных зон болтанки над различными районами используются данные радиозондирования атмосферы, карты барической топографии, авиационные прогностические карты.

Интенсивная болтанка возникает при вертикальных сдвигах ветра более 3 м/с на 100 м и/или горизонтальных сдвигах более 6 м/с на 100 км, горизонтальных градиентах температуры более 2,5°C на 100 км.

Вертикальные сдвиги ветра определяются по данным радиопилотных наблюдений за ветром, а горизонтальные – по картам барической топографии.

На картах АТ зоны повышенной турбулентности расположены в областях расходимости и сходимости изогипс, вдоль высотных ложбин и гребней, а также в тех районах, где изогипсы имеют большую кривизну (рис. 9.5).

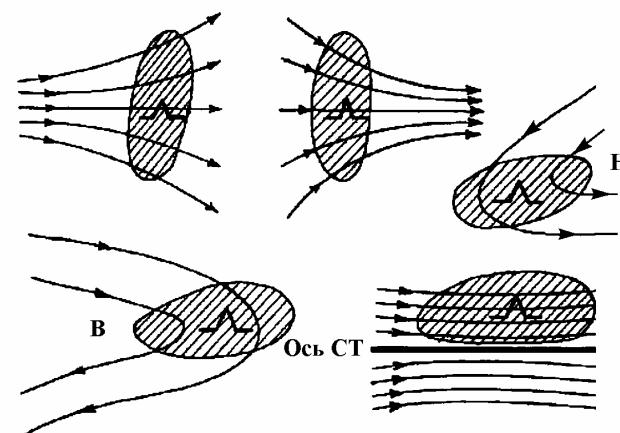


Рис. 9.5. Зоны повышенной турбулентности на картах АТ

В зонах струйных течений наибольшую повторяемость болтанка имеет на левой, циклонической стороне от оси и ниже ее на 1...1,5 км.

В зоне тропопаузы повышенная турбулентность наблюдается в тех районах, где наклон тропопаузы более 1/300. Наклон тропопаузы на маршруте полета можно определить по карте тропопаузы и по авиационным прогностическим картам.

Сильная болтанка наблюдается в облаках конвективного характера, особенно в мощно-кучевых и кучево-дождевых. При этом болтанка бывает не только в облаках, но и под облаками, над облаками и вблизи облаков.

В подинверсионных высоко-кучевых и слоисто-кучевых облаках обычно наблюдается слабая или умеренная болтанка, особенно вблизи их верхней границы. Болтанка наиболее вероятна, если верхняя граница этих облаков является всхолмленной или волнистой.

9.4.2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЛЕТОВ И УПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В ЗОНАХ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Полеты в турбулентных зонах относятся к полетам в особых условиях и должны выполняться при строгом соблюдении руководящих документов ГА и РЛЭ данного типа ВС.

1. В период предполетной подготовки изучить метеообстановку по маршруту или району полетов и определить возможные зоны с повышенной турбулентностью.
2. Перед входом в зону возможной болтанки и при внезапном попадании в нее, пассажиры должны быть пристегнуты к креслам привязанными ремнями.
3. При попадании ВС в сильную болтанку, командир обязан принять меры для немедленного выхода из опасной зоны, в том числе, с разрешения диспетчера, изменить высоту полета.
4. При полетах по ПВП в горной местности на высотах менее 900 м и попадании ВС в зону сильной болтанки командир, по разрешению диспетчера, должен вывести из этой зоны ВС с набором высоты, возвратиться на аэродром вылета или следовать на запасной аэродром.

- При попадании ВС в зону сильной болтанки, угрожающей безопасности полета, командир имеет право самостоятельно изменить эшелон с немедленным докладом об этом диспетчеру.
- Вертикальные вихри, не связанные с облаками и обнаруживаемые визуально, экипаж обязан обходить стороной. Вертикальные вихри (смерчи), связанные с кучево-дождовыми облаками, обнаруживаемые визуально, экипаж обязан обходить на удалении не менее 30 км от их видимых боковых границ.
- При попадании ВС в зону сильной болтанки на больших высотах выход из нее, путем снижения, допускается лишь до высоты не менее 500 м над верхней границей кучево-дождевых облаков.

9.5. ГРОЗЫ, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И СТАДИИ РАЗВИТИЯ

Гроза – это сложное атмосферное явление, характеризующееся интенсивным облакообразованием и многократными электрическими разрядами в виде молний.

Грозы возникают в кучево-дождевых облаках, которые, в этом случае, называются грозовыми. Площадь хорошо развитых кучево-дождевых облаков обычно не превышает 50...100 км². В грозовых облаках сконцентрирована колоссальная энергия, проявления которой всегда поражают человеческое воображение. Расчеты показывают, что в грозовом облаке небольших размеров (площадью около 30 км²) при конденсации водяного пара выделяется около $1,8 \cdot 10^{13}$ калорий тепла. Примерно такое же количество тепла ($2 \cdot 10^{13}$) выделяется при взрыве атомной бомбы среднего калибра или взрыве 20000 тонн тротила. Количество тепла, выделяемое при конденсации водяного пара в хорошо развитом облаке, занимающем площадь около 100 км², равно количеству тепла, образующемуся при взрыве водородной бомбы, что примерно в 1000 раз больше, чем при взрыве атомной бомбы, и эквивалентно взрыву 20 млн. тонн тротила. Вся эта громадная тепловая энергия, выделяющаяся при конденсационных процессах, расходуется на развитие в облаке

восходящих токов, которые поддерживают во взвешенном состоянии сотни тысяч тонн воды. Восходящие токи иногда способствуют развитию грозовых облаков до больших высот. Вершины облаков могут пробивать тропопаузу и проникать в нижнюю стратосферу. В умеренных широтах грозовые облака могут развиваться до 12...14 км, в Закавказье, Средней Азии и Дальнем Востоке – до 15...16 км, в Индии – до 18 км, в экваториальной зоне – до 20...21 км.

Грозовое облако непрерывно вырабатывает электричество, которого достаточно для того, чтобы обеспечить все потребности города, имеющего население в 10 млн. человек, в течение всего времени, пока длится гроза.

В грозовых облаках наибольшую угрозу для авиации представляют такие опасные явления, как сильная турбулентность, мощные вертикальные токи воздуха, интенсивное обледенение, электрические разряды, град и ливневые осадки. Следует отметить, что все эти опасные явления могут наблюдаться одновременно. Под облаками опасность представляют шквалистые ветры, достигающие иногда ураганной силы, смерчи, ливневые осадки (дождь, град, снежные заряды), между облаками сильные нисходящие и восходящие воздушные потоки, сдвиги ветра.

Для образования грозового облака необходимы следующие условия:

- Вертикально направленные восходящие потоки воздуха (конвекция).
- Большое влагосодержание воздуха (абсолютная влажность $a > 13 \text{ г}/\text{м}^3$ или упругость водяного пара $e > 15 \text{ гПа}$).
- Большая положительная энергия неустойчивости в тропосфере (до 400 гПа). Вертикальный температурный градиент $\gamma > 0,65^\circ\text{C}/100 \text{ м}$.

Условно развитие грозового облака можно разделить на три стадии (рис. 9.6).

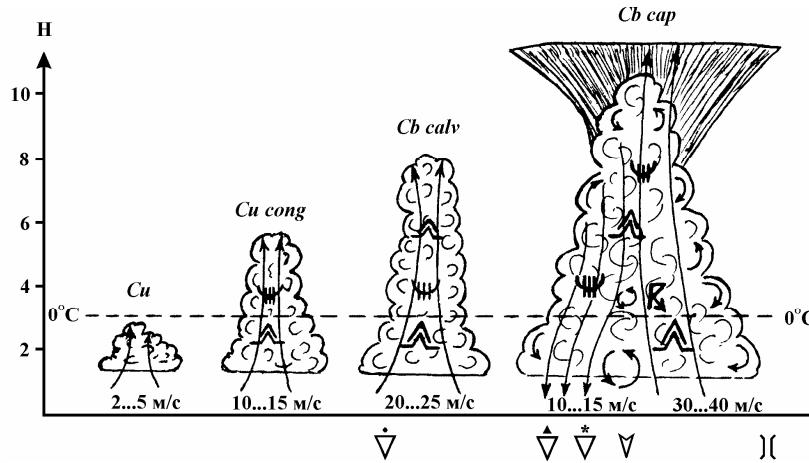


Рис. 9.6. Стадия развития грозового облака

I стадия – начальное развитие – от появления кучевого облака до начала выпадения ливневых осадков. В этой стадии кучевые облака постепенно перерастают в мощно-кучевые, а затем в кучево-дождевые “лысые”, из которых и начинают выпадать осадки. В облаках преобладают восходящие потоки, которые усиливаются от 2...5 м/с в кучевых облаках до 10...15 м/с в мощно-кучевых. Верхняя граница кучевых облаков 1,5...2,5 км, а мощно-кучевых – 4...6 км. Они состоят из капель воды. В кучево-дождовом “лысом” облаке начинается оледенение верхней части, и она уже состоит из переохлажденных капель, снежинок и ледяных кристаллов. Скорости восходящих потоков в таких облаках могут достигать 20...25 м/с, а верхняя граница – 7...8 км. Переход от кучевого облака к мощно-кучевому происходит довольно медленно, а от мощно-кучевого к кучево-дождовому – очень быстро (1 час и менее). Вертикальная скорость подъема вершины облака в среднем равна 1 м/с, а в определенных случаях может достигать 10 м/с. Между облаками наблюдаются нисходящие потоки воздуха.

II стадия – максимальное развитие – грозовое облако из кучево-дождевого “лысого” развивается в кучево-дождевое “волосатое”. Из облака выпадают ливневые осадки. Возникают электрические разряды в виде молний. Во второй стадии в грозовом облаке наблюдаются интенсивные восходящие и нисходящие движения воздуха. Восходящие потоки достигают максимальных скоростей 30...40 м/с и более. Они преобладают в передней части облака. Скорость восходящего потока в облаке почти линейно растет с высотой, начиная с основания, и достигает максимального значения в предвершинной части облака, после чего к вершине облака скорость начинает линейно убывать. За счет ливневых осадков образуются нисходящие потоки со скоростью 10...15 м/с. Нисходящие потоки наиболее развиты в тыловой части облака. Особенностью вертикальных потоков внутри облака является их сильная порывистость. Порывы могут достигать 15 м/с и вызывать при бросках перегрузку самолета до 2g и более. Внутри облака образуется много вихрей разного размера, которые приводят к интенсивной турбулентности, вызывающей сильную болтанку ВС. Сильная турбулентность наблюдается также и над верхней границей грозовых облаков (рис. 9.7).

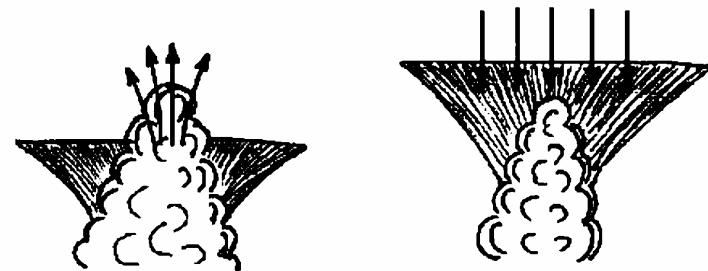


Рис. 9.7. Движения воздуха над вершинами грозовых облаков

Над куполообразной вершиной кучево-дождевых облаков, не имеющей наковални или выступающей из наковални, в слое 200...300 м от облака имеют место сильные восходящие потоки. Опасная турбулентность в этом случае наблюдается в непосредственной близости к облаку, в слое 50...100 м. В зоне восходящих потоков самолет тянет вверх.

Над плоской вершиной в слое 200...300 м наблюдается нисходящий поток. ВС, попадающие в наковальню или пролетающие вблизи нее, вертикальными потоками могут быть втянуты в облако.

У внешних границ кучево-дождевых облаков чаще всего наблюдаются нисходящие движения воздуха в сочетании с турбулентностью. При подходе к облакам болтанка ВС может появляться на удалении, примерно равном диаметру облака.

Сильные восходящие потоки, характерные для кучево-дождевых облаков, способны удерживать во взвешенном состоянии крупные капли воды, которые в зоне отрицательных температур находятся в переохлажденном состоянии, поэтому в грозовых облаках на всех высотах выше нулевой изотермы наблюдается очень сильное обледенение ВС.

Большую опасность для полетов в грозовых облаках и под ними представляет град. Выпадение града происходит не при каждой грозе. Над Европой в равнинной местности выпадение града происходит один раз в среднем на 10...15 случаев. В горных районах грозы с градом бывают чаще.

Выпадение крупного града является стихийным бедствием. От него сильно страдают посевы, фруктовые сады, виноградники, домашний скот на пастбищах. Град может пробивать обшивку ВС на стоянках аэродромов. В полете, при попадании в град, повреждаются обшивка фюзеляжа, особенно перкалевая обшивка стабилизаторов вертолетов, остекление кабины экипажа, обтекатели антенн и другие, сравнительно непрочные элементы конструкции ВС.

Во второй стадии большую опасность представляют явления, наблюдаемые под грозовыми облаками.

В передней части грозового облака иногда образуется темный крутящийся вал из разорванных облаков, который называется **шкваловым воротом**. Он возникает на высоте 500...600 м (может опускаться и до 50 м) на границе восходящего потока в облаке и нисходящего потока вне облака. Шкваловый ворот имеет большие скорости вращения и является крайне опасным явлением. При высоких температурах, большой влажности воздуха и сильной неустойчивости в атмосфере конец шквалового ворота может опускаться до земли, образуя сильный вихрь с приблизительно вертикальной осью вращения и

диаметром в несколько десятков метров. Этот вихрь называется **смерчом**. Смерчи обладают большой разрушительной силой. Их прохождение связано с большими катастрофическими разрушениями на земле. Пыль, обломки разных предметов и даже животные и люди могут подниматься вверх этими потоками и переноситься на значительные расстояния.

Вторая опасная зона под грозовыми облаками наблюдается между восходящими и нисходящими потоками воздуха в области ливневых осадков. Это зона шквалов. Ширина ее не превышает 500 м. В высоту шквал простирается до 2...3 км, его продолжительность несколько минут. У земли шквал проявляется как резкое усиление ветра, сопровождающееся изменением его направления почти на 180°. Ветер в зоне шквалов может достигать силы урагана (более 29 м/с). Шквал опасен для воздушных судов, находящихся в полете на малых высотах, а также для авиационной техники и различных легких построек, расположенных на аэродроме.

III стадия – стадия **разрушения** – ливневые осадки, выпадающие из грозового облака, охлаждают воздух и подстилающую поверхность под облаком. Поэтому ослабевают, а затем прекращаются восходящие потоки. В данной стадии в грозовом облаке преобладают нисходящие потоки, которые размывают это облако. Разрушение грозового облака обычно начинается с нижней части. Облако оседает и расширяется по площади. Скорость опускания вершины равна 1...1,5 м/с, иногда 3 м/с. Нижняя граница грозового облака приобретает своеобразный вид – она становится вымечтой. Вершина облака плоская и состоит из перистых облаков волокнистой структуры. В среднем ярусе к грозовому облаку примыкают высоко-кучевые облака, а в нижнем – слоисто-кучевые облака.

В третьей стадии в грозовом облаке наблюдаются все опасные явления, которые характерны для второй стадии, но по мере разрушения облака их интенсивность уменьшается.

Весь период развития грозового облака занимает от 3 до 5 часов.

Руководящие документы ГА запрещают преднамеренно входить в грозовые облака в любой стадии их развития, так как в грозовых облаках и в непосредственной близости от них прямую опасность для полетов представляют:

- порывистые восходящие и нисходящие потоки воздуха с большими скоростями, приводящие к внезапным броскам ВС;
- интенсивное обледенение на всех высотах выше нулевой изотермы;
- электрические разряды в виде молний;
- град, вызывающий механические повреждения ВС;
- сильные атмосферные помехи, нарушающие радиосвязь;
- ливневые осадки с ограниченной видимостью;
- шквалы и смерчи;
- сдвиги ветра в приземном слое.

Грозовые облака по своему составу являются смешанными (рис. 9.8). Они состоят из капель воды, снежинок и ледяных кристаллов. Обычно на нижней границе облака температура воздуха $+5^{\circ}\text{C} \dots +10^{\circ}\text{C}$, а на верхней границе, в зависимости от вертикальной мощности облака, она может быть $-40^{\circ}\text{C} \dots -65^{\circ}\text{C}$. Это обуславливает неоднородную структуру облака по его составу.

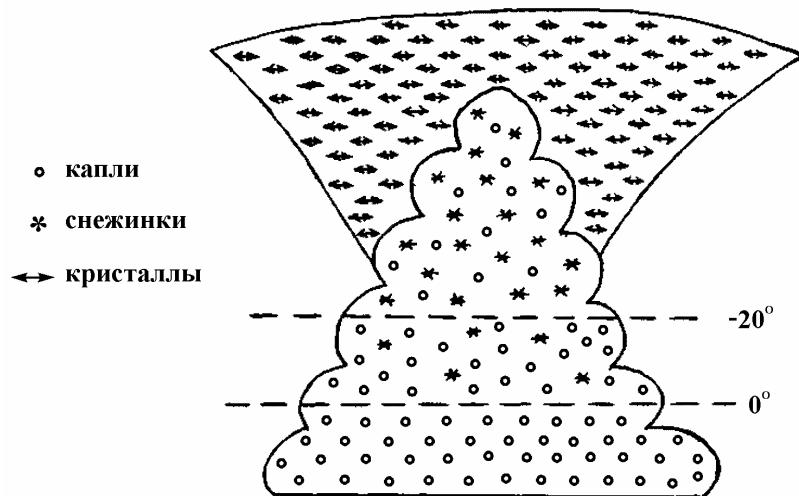


Рис. 9.8. Микроструктура грозового облака

От основания облака до уровня нулевой изотермы облако состоит из капель воды, от уровня нулевой изотермы до уровня изотермы -20°C – из снежинок и переохлажденных капель воды, которые в этом слое преобладают; выше уровня изотермы -20°C преобладают уже снежинки и ледяные кристаллы.

При громе в атмосфере происходят электрические разряды. Для возникновения электрических разрядов необходимо образование в грозовом облаке объемных электрических зарядов. Такие заряды создаются в результате электризации облачных элементов – капель и ледяных кристаллов.

Существует много (около 35) теорий образования объемных электрических зарядов в кучево-дождевых облаках. Наиболее распространенной является теория образования электрических зарядов в грозовом облаке вследствие дробления капель и кристаллов.

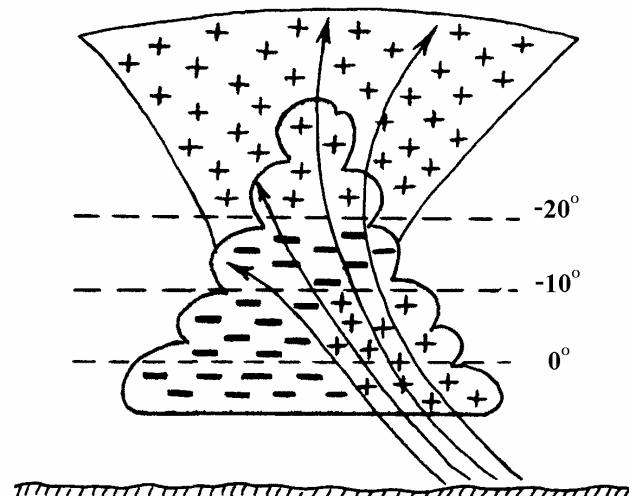


Рис. 9.9. Электрическая структура грозового облака

Под действием сильных порывов восходящих потоков крупные капли, образовавшиеся в нижней части облака, разбрызгиваются. При этом происходит их электризация. Мелкие капли заряжаются отрицательно и уносятся вверх.

Крупные капли с положительным зарядом остаются в нижней части облака. В верхней части грозового облака электризация происходит, по-видимому, за счет трения кристаллов и их раскалывания при столкновениях. Мелкие осколки заряжаются положительно, крупные – отрицательно. Крупные осколки опускаются вниз и усиливают отрицательный заряд середины облака. Мелкие осколки, заряженные положительно, остаются во взвешенном состоянии в верхней части облака.

Но не только так могут заряжаться грозовые облака. Облачные капли при своем движении замерзают и тают. Каждый из этих процессов также приводит к электризации облачных частиц. Таким образом, электризация может происходить при следующих процессах:

- при кратковременном контакте крупных и мелких капель;
- при разбрызгивании капель и дроблении кристаллов в результате сильных восходящих и нисходящих потоков внутри облака;
- при трении кристаллов.

В результате электризации капель и кристаллов и переноса их воздушными потоками в облаке образуются области с мощными объемными зарядами. Среднее распределение электрических зарядов в грозовом облаке приведено на рис 9.9.

Отрицательные электрические заряды сосредоточены в основном в тыловой и средней части облака от нижней границы до изотермы -20°C, а положительные заряды – в передней части облака, где имеются мощные восходящие потоки воздуха, а также выше изотермы -20°C.

Если напряженность электрического поля между двумя объемными зарядами в облаке или между облаками и землей достигает величины пробивного потенциала воздуха (около 30000 В/см), то происходит электрический разряд. Такие разряды, сопровождающиеся ослепительной вспышкой света и раскатами грома, называются **молниями**.

Гром – явление акустическое, основной его причиной является ударная волна, возникающая в результате разрыва разрядного канала.

По внешнему виду и физическим особенностям молнии подразделяются на линейную разветвленную, плоскую и шаровую.

Линейная разветвленная молния – это наиболее часто наблюдающийся гигантский искровой разряд атмосферного электричества. Длина молнии в среднем составляет 2...3 км, а иногда может достигать 20 км и более. От основного канала имеется несколько ответвлений, поэтому линейная молния похожа по внешнему виду на сухую ветвь лиственного дерева. Скорость молнии составляет около $10^2\ldots 10^3$ км/с. Сила тока внутри канала молнии порядка десятков тысяч ампер. Температура плазмы в молнии превышает 10000°C. Линейная молния возможна внутри грозового облака, между облаком и землей, между двумя облаками.

Плоская молния представляет собой бесшумное красноватое свечение какой-либо части облака, возникающее за счет суммарного эффекта большого количества коронных разрядов на облачных частицах. Продолжительность такой молнии около 1 секунды. Плоскую молнию не нужно смешивать с зарницей, когда облака освещаются удаленной и непосредственно невидимой линейной молнией.

Шаровая молния – это довольно редкое и загадочное явление. Она представляет собой круглую светящуюся массу размером с кулак, иногда с арбуз и более. Природа шаровой молнии полностью не раскрыта. Считают, что это скопление плазмы, возникающее после обычной линейной молнии.

При полете в грозовом облаке или вблизи него может произойти попадание молнии в ВС. Это возможно в двух случаях:

- ВС находится на пути молнии;
- напряженность электрического поля между объемным зарядом в облаке и объемным зарядом ВС больше пробивного потенциала воздуха.

В результате попадания молнии в ВС может произойти:

- разгерметизация кабины;
- пожар на ВС;
- ослепление экипажа;
- разрушение обшивки, отдельных деталей и радиотехнических средств;
- намагничивание стальных сердечников в приборах и др.

Вероятность поражения ВС молнией возрастает с увеличением их массы и скорости полета. Наиболее часто поражаются молнией радиоантенны, крылья, стабилизатор и

фюзеляж. Существенно реже происходит поражение топливных баков, но эти случаи обычно имеют тяжелые последствия.

С грозовыми разрядами тесно связаны *атмосферные радиопомехи (атмосферики)*. Это электромагнитные импульсы, которые возникают в процессе грозового разряда. Распространяясь от места своего возникновения, атмосферики вызывают радиопомехи – особенно на длинных волнах. Они создают шумы и треск в телефонах. Чем больше напряженность электрического поля в грозовом облаке, тем сильнее атмосферные радиопомехи.

9.5.1. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Под электризацией ВС принято понимать процесс приобретения им электрического заряда при полете в облаках и осадках. Основной физический механизм этого явления состоит в том, что, при соприкосновении нейтральных частиц облаков или осадков с поверхностью незаряженного ВС и при отскакивании от нее, отлетающие частицы уносят заряд одного знака, а ВС получает заряд, равный по величине, но противоположный по знаку.

Наиболее интенсивно электризация ВС происходит при полете в кристаллических облаках и осадках. Это объясняется тем, что, наряду с указанным механизмом электризации, происходит дополнительная электризация за счет баллоэффекта (электризация при разрушении кристаллов). При ударе о поверхность ВС кристаллы и снежинки разрушаются, при этом крупные частицы заряжаются одним знаком, а мелкие – другим. Крупные частицы, попадая на поверхность ВС, отдают ему свой заряд, а мелкие – уносятся потоком. С увеличением числа частиц деления вклад баллоэффекта в электризацию возрастает. Снежинки и кристаллы при ударе разрушаются на десятки и даже сотни частиц, в то время как мелкие капли упруго отскакивают не разрушаясь. По этой же причине электризация ВС в крупнокапельных облаках происходит интенсивнее, чем в мелкокапельных.

Поражение ВС электростатическими разрядами происходит в облаках верхнего яруса, в кучево-дождевых, не достигших грозовой стадии, в слоисто-дождевых, слоисто-кучевых и слоистых облаках. Особенно подвержены поражению электростатическими разрядами ВС, имеющие большую полетную массу. Чаще всего это происходит на высотах 500...4000 м, в зоне температур 0°C...-15°C, при скоростях полета более 500 км/ч. В результате таких разрядов отмечались: отказ бортовых радиолокаторов, разрушение антенных обтекателей, выход из строя антенных устройств, повреждение элементов конструкции фюзеляжа, законцовок крыльев и оперения. Особенно подвержен поражению такими разрядами диэлектрический носовой обтекатель бортовой радиолокационной станции, обладающий большим электрическим сопротивлением.

Повторяемость случаев поражения ВС электростатическими разрядами значительно выше повторяемости поражений молниями. Как показывает анализ случаев поражения ВС электростатическими разрядами, большая их часть приходится на холодный период года. Причем, максимумы отмечаются в апреле и в октябре. Суть этого явления, в общих чертах, состоит в следующем. В облаках всегда существует электрическое поле. Однако напряженность его достигает величин, достаточных для возникновения электрического разряда (молнии), только в хорошо развитых кучево-дождевых облаках, преимущественно в теплое время года. В облаках других форм напряженность существенно меньше. Вместе с тем, вследствие неоднородности и изменчивости облачных электрических полей, в некоторых их частях напряженность может достигать величин, достаточных для поддержания электрического разряда, хотя и недостаточных для его возникновения. При появлении в этих частях облачности ВС, имеющего собственный электрический заряд, напряженность может достичь критического значения, и, в этом случае, произойдет разряд в ВС. С увеличением скорости полета ВС, при прочих равных условиях, его электрический заряд возрастает. Происходит это потому, что токи заряда пропорциональны третьей степени скорости полета, а токи разряда – первой. При большом заряде ВС стекание электричества

происходит не только через разрядники, но и через выступающие заостренные части ВС, например, через антенны, кромки крыльев и киля, приемник воздушного давления и т.д.

Для обеспечения безопасности полета при возникновении сильной электризации необходимо, по возможности, уменьшить скорость полета и, по согласованию с диспетчером, изменить высоту полета.

Признаками сильной электризации ВС являются:

- возникновение сильных радиопомех, особенно на средних и длинных волнах;
- возникновение свечения на концах крыльев в темное время суток;
- пролетающие искры на стеклах кабины.

9.5.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРОЗ

В зависимости от синоптических условий образования грозы могут быть внутримассовыми и фронтальными.

Внутримассовые грозы образуются в неустойчивых воздушных массах в теплое время года, как правило, во вторую половину дня и, в зависимости от причин образования, подразделяются на:

- конвективные (тепловые);
- адвективные;
- орографические.

Конвективные грозы образуются в размытых барических полях – на периферии заполняющихся циклонов и в седловинах – из-за неравномерного прогрева подстилающей поверхности.

Адвективные грозы образуются в тыловой части циклона и на восточной периферии антициклона при перемещении относительно холодной воздушной массы по теплой подстилающей поверхности. Эти грозы сопровождаются сильными ветрами у земли и на высотах.

Орографические грозы образуются на наветренных склонах гор, когда по этим склонам вверх поднимается теплая, влажная неустойчивая воздушная масса.

Внутримассовые грозы располагаются на площади отдельными очагами на значительном расстоянии друг от друга, поэтому в полете их можно обойти стороной. Предвестниками внутримассовых конвективных гроз являются высоко-кучевые башенкообразные облака, которые образуются утром на горизонте.

Фронтальные грозы образуются на холодных фронтах ($\approx 70\%$) и на теплых фrontах ($\approx 30\%$).

Грозы на холодных фронтах (рис. 8.11, 8.12) образуются в любое время года и суток, но обостряются летом во вторую половину дня. Предвестниками грозы холодного фронта являются высоко-кучевые чечевицеобразные облака, которые движутся впереди фронта на расстоянии 80...200 км.

Грозы на теплых фронтах (рис. 8.9) образуются в теплое время года преимущественно ночью или в утренние часы. Эти грозы носят скрытый характер, поэтому встреча с ними может произойти неожиданно для экипажа.

Грозовая деятельность на атмосферных фронтах тем интенсивнее, чем больше разность температур между воздушными массами, которые разделяются этими фронтами, и чем больше влагосодержание теплого воздуха.

Фронтальные грозы располагаются вдоль фронта в узкой вытянутой зоне. Длина этой зоны может достигать 1000 км и больше, а ширина 50...100 км. Если в нижних частях грозовые облака могут сливаться в общий облачный массив, то на высотах более 3 км между ними, обычно, наблюдаются просветы шириной 5...180 км.

Фронтальные грозы перемещаются вместе с фронтом в направлении воздушных потоков на высотах 3...5 км.

9.5.3. МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ГРОЗАМИ

В целях обеспечения безопасности полетов и регулярности движения ВС работники аэродромных метеорологических органов (АМО) информируют руководящий, летный и диспетчерский состав о наличии гроз в районах аэродромов вылета, посадки и на воздушных трассах, а также составляют прогнозы гроз.

За грозами ведутся как визуальные, так и инструментальные наблюдения.

В настоящее время наблюдения за грозами, в основном, проводятся визуально-слуховым методом. Для проведения наблюдений привлекаются АМО, гидрометеорологические станции (ГМС) и метеорологические посты (МП), расположенные вокруг каждого аэродрома в радиусе до 200 км (штормовое кольцо), дополнительная сеть ГМС и МП за пределами штормового кольца, работники аэродромов и посадочных площадок местных воздушных линий, а также пилоты, находящиеся на рабочих аэродромах в период проведения авиационных химических работ.

При всем обилии источников информации о грозах, получаемой визуально-слуховым методом, фиксируется только около одной трети грозовых очагов, а промежутки времени между началом (концом) явления на станции и поступлением информации о нем, в среднем, равняются 10...15 (20...30) минут. В этих условиях особое значение приобретает информация о грозах, полученная при помощи метеорологических радиолокаторов (МРЛ), а также при наблюдениях за атмосфериками.

Местоположение близких грозовых очагов наиболее точно определяется радиолокационными методами по отражениям от облаков посыпаемых искусственных импульсов. Кучево-дождевые облака, сопровождающиеся ливнями и грозами, хорошо обнаруживаются с помощью МРЛ на расстояниях до 150 км. Большим преимуществом радиолокационного метода является то, что он позволяет получать площади, занятые облаками, определять их эволюцию, перемещение, верхние границы, благодаря чему можно расширить сведения о характере метеорологических процессов. По данным наблюдений составляются карты радиолокационной информации, которые передаются в АМО по фототелеграфу. Недостатком радиолокационных наблюдений за грозами является то, что наличие электрических разрядов в очаге облачности определяется по косвенным аэрологическим данным о структуре и развитии облаков. При этом могут возникнуть трудности с разделением ливневых и грозовых очагов. Кроме этого, карта радиолокационной информации поступает в АМО со значительной задержкой после проведения наблюдений, что

снижает ее ценность в оперативной работе по метеорологическому обеспечению полетов.

Основным требованием к оперативной информации является быстрота получения данных, указывающих на появление или развитие тех явлений, за которыми непрерывно проводятся наблюдения. Атмосферики приходят в каждую точку с максимальной принципиально допустимой скоростью, поэтому, при использовании этих данных непосредственно в пункте приема, выполнение требования к оперативности обеспечивается. В зависимости от освещаемой территории, имеющаяся аппаратура для инструментальных наблюдений за атмосфериками (грозами) может быть распределена по трем основным группам:

- счетчики грозовых разрядов – район станции штормового оповещения в радиусе 15...20 км;
- установки для наблюдений за близкими грозами – зона штормового кольца в радиусе 150...200 км;
- установки для наблюдений за дальними грозовыми очагами – воздушные трассы и районы полетов в радиусе до нескольких тысяч километров.

Счетчики грозовых разрядов (грозоотметчики, грозо-регистраторы) являются автономными приборами, предназначенными для сигнализации о наличии грозовой деятельности в районе станции штормового оповещения без указания направления, а также для подсчета числа грозовых разрядов с целью получения объективной характеристики – среднего числа разрядов на единицу площади.

Установки для наблюдения за близкими грозами позволяют определять местоположение грозового очага (удаленность и азимут) относительно пункта наблюдений. При этом информация может быть получена на экране электронно-лучевой трубки пеленгатора азимута гроз (ПАГ) или на ленте самописца панорамного регистратора близких гроз. Данные приборы могут быть использованы автономно, как индикаторы наличия грозы в том или ином направлении на различных расстояниях от пункта наблюдения, но наибольший эффект в прогностической работе по метеообеспечению авиации получается при использовании их совместно с выносным индикатором диспетчерского радиолокатора.

Установки для наблюдений за дальними грозовыми очагами позволяют за 20...30 минут (в зависимости от грозовой активности) получить информацию о грозовых очагах (удаленность и азимут) на территории радиусом до 10 тысяч километров от пункта наблюдения.

Для метеорологического обеспечения полетов большое значение имеет прогнозирование гроз. Прогноз фронтальных гроз производится синоптическим методом. Поскольку эти грозы непосредственно связаны с атмосферными фронтами, прогноз сводится к расчету направления и скорости перемещения фронта, а также оценке его обострения или размывания (эволюции).

Для прогноза внутримассовых гроз, обычно, применяются различные методы с использованием данных радиозондирования атмосферы в утренние часы. При прогнозе учитывается синоптическая обстановка, энергия неустойчивости атмосферы (определенная по аэрологической диаграмме), высота развития кучево-дождевого облака, влагосодержание воздуха в слое от земной поверхности до уровня 500 гПа, скорость ветра в средней части тропосфера. Существенную помощь при прогнозировании гроз могут оказывать местные признаки погоды. Например, появление в утренние часы на горизонте высоко-кучевых башенообразных облаков указывает на неустойчивое состояние средних слоев тропосфера и большую вероятность возникновения грозы во второй половине дня. Появление высоко-кучевых чечевицеобразных облаков указывает на приближение холодного фронта 2-го рода и гроз, связанных с этим фронтом.

9.5.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЛЕТОВ И УПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В ЗОНАХ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1. При принятии решения на полеты с пересечением зон грозовой деятельности и сильных ливневых осадков необходимо учитывать:
 - характер гроз (внутримассовые, фронтальные);
 - расположение и перемещение грозовых (ливневых) очагов, возможные маршруты их обхода;
 - необходимость дополнительной заправки топливом.

2. Полеты по ПВП и ОПВП ниже нижнего эшелона по маршрутам, проходящим в горной местности, при наличии и прогнозировании фронтальных гроз **запрещаются**.
3. Полеты по ППП в зоне грозовой деятельности без бортовых РТС обнаружения грозовых очагов при отсутствии наземного радиолокационного контроля **запрещаются**.
4. При подходе ВС к зоне грозовой деятельности (сильных ливневых осадков) командир ВС обязан оценить возможность продолжения полета, принять решение на обход опасной зоны или на полет на запасной аэродром и согласовать свои действия с органами ОВД.
5. Диспетчер, используя радиолокаторы, метеоинформацию и сообщения с ВС, обязан информировать экипажи о характере облачности, расположении грозовых очагов, направлении их смещения и давать рекомендации по обходу грозовых облаков.
6. При визуальном обнаружении в полете мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков, примыкающих к грозовым очагам, разрешается обходить их на удалении не менее 10 км. При невозможности обхода указанных облаков на заданной высоте разрешается визуальный полет под облаками или выше их.
7. Визуальный полет под облаками разрешается только днем, вне зоны ливневых осадков, если:
 - высота полета ВС над рельефом местности и искусственными препятствиями не меньше истинной безопасной высоты, но во всех случаях не менее 200 м в равнинной и холмистой местности и не менее 600 м в горной местности;
 - вертикальное расстояние от ВС до нижней границы облаков не менее 200 м.
8. Полет над верхней границей мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков разрешается выполнять с превышением над ними не менее 500 м.
9. При обнаружении в полете мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков бортовыми РЛС разрешается обходить эти облака на удалении не менее 15 км от ближней границы засветки.
10. Пролет между двумя грозовыми очагами может проводиться в том месте, где расстояние между границами засветок на экране бортового радиолокатора не менее 50 км.
11. В условиях сильных ливневых осадков посадка ВС при метеорологической видимости менее 1000 м **запрещается**.

9.6. СДВИГИ ВЕТРА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ, ИХ ВЛИЯНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПОЛЕТОВ

Распределение ветра в приземном слое атмосферы (до высоты 100 м) оказывает большое влияние на выполнение взлета и посадки ВС. Особенно опасным является резкое изменение ветрового режима вдоль траектории движения ВС, которое может оказаться совершенно неожиданным для экипажа.

ВС пересекает самый нижний слой атмосферы в столь короткое время, что ограниченный запас высоты, скорости, приемистость двигателей не позволяют пилоту своевременно парировать влияние резкого изменения ветра. Изменение взлетно-посадочных характеристик под воздействием резкого ослабления или усиления ветра явилось, в ряде случаев, одной из главных причин летных происшествий.

Характеристикой пространственной изменчивости ветра является **сдвиг ветра** – разность векторов ветра в двух точках пространства, отнесенная к расстоянию между этими точками. Сдвиг ветра представляет собой векторную величину и отражает изменение скорости и направление ветра между рассматриваемыми точками. В зависимости от ориентации в пространстве двух точек, между которыми определяется сдвиг ветра, различают вертикальный и горизонтальный сдвиги ветра. Кроме того, выделяются вертикальные восходящие и нисходящие потоки, представляющие собой движение воздуха в вертикальном направлении в небольших зонах с сечением порядка сотен метров.

Для оценки сдвига ветра пользуются терминами и численными критериями, которые рекомендованы ICAO (табл. 9.1).

Таблица 9.1. Характеристики сдвигов ветра

Сдвиг ветра	Влияние на управление самолетом	Вертик. сдвиг ветра м/с на каждые 30 м высоты	Горизонт. сдвиг ветра м/с на каждые 600 м расстояния	Скорость восходящ. или нисходящ. потока м/с
Слабый	Незначительное	0...2,0	0...2,0	0...2,0
Умеренный	Значительное	2,1...4,0	2,1...4,0	2,1...4,0
Сильный	Существенные затруднения	4,1...6,0	4,1...6,0	4,1...6,0
Очень сильный	Опасное	> 6	> 6	> 6

По статистическим данным WMO попадание ВС на посадке в сдвиг ветра, превышающий 4 м/с на 30 м высоты, возможно не менее одного раза в течение всего его среднего ресурса.

Проблема сдвига ветра в авиации приобрела особенно актуальное значение в последние 30...40 лет. Это связано с тем, что изменились ВС, условия и интенсивность их эксплуатации. Благодаря значительной массе (50...200 т), ВС обладает большой инерцией, которая препятствует быстрому изменению его путевой скорости (т.е. скорости движения относительно поверхности земли) при резком изменении характера движения воздуха вдоль траектории полета. Вектор путевой скорости \vec{W} является суммой вектора воздушной скорости \vec{V} и вектора скорости ветра \vec{U} .

$$\vec{W} = \vec{V} + \vec{U} \quad (9.2)$$

Сохранение, вследствие инерции, путевой скорости при пересечении ВС уровней с различным ветром приводит к изменению воздушной скорости. Если бы ВС под действием изменений ветра могло мгновенно ускорять или замедлять свое движение, проблемы сдвига ветра не существовало бы.

Влияние сдвига ветра на полет самолета можно оценить, рассмотрев формулу подъемной силы крыла Y при установившемся движении:

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (9.3)$$

где C_y – коэффициент подъемной силы;

ρ – плотность воздуха;

S – площадь крыла;

V – воздушная скорость самолета.

Подъемная сила крыла Y прямо пропорциональна квадрату воздушной скорости полета. Значительное изменение характера движений воздуха вдоль траектории полета вызывает резкое изменение воздушной скорости и, соответственно, подъемной силы. В результате этого возникают эволюции ВС в вертикальной плоскости: при увеличении воздушной скорости произойдет подъем, а при уменьшении – опускание ВС по

отношению к расчетной траектории полета. При наличии достаточных запасов по высоте и скорости полета современные ВС, даже без вмешательства пилота, могут восстанавливать режим полета, нарушенный изменением параметров ветра. На малых высотах при выполнении захода на посадку или при взлете существенные отклонения ВС от предполагаемой траектории полета представляют большую опасность в связи с близостью земли. Характер отклонений от заданной траектории движения зависит от вида сдвига ветра, наблюдающегося в данной зоне.

1. Скорость ветра с высотой резко увеличивается (рис. 9.10)

Если посадка или взлет самолета происходит строго при встречном ветре, то путевая скорость будет равна разности воздушной скорости и скорости ветра $W = V - u$.

При посадке ВС, движущееся против ветра, попадает в нижележащий слой с более слабым встречным ветром. При этом по инерции оно сохраняет свою путевую скорость, воздушная же скорость уменьшается, следовательно, уменьшается и подъемная сила. В результате фактическая траектория движения проходит ниже заданной глиссады, ВС “проваливается” и, несмотря на увеличение пилотом силы тяги двигателей, посадка может быть совершина с недолетом. Аналогичная ситуация наблюдается при посадке с попутным ветром, который с высотой ослабевает.

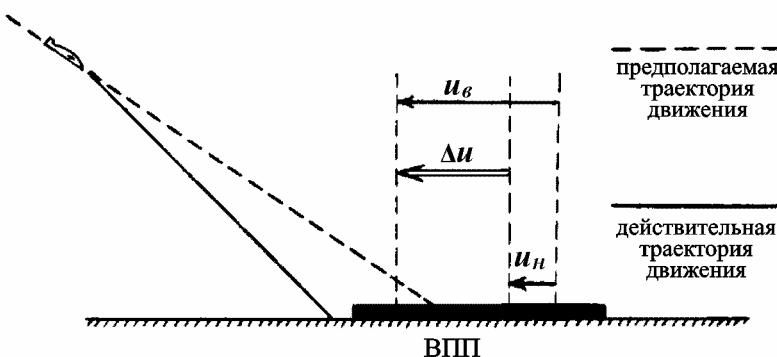


Рис. 9.10. Схема посадки ВС при ослабевающем встречном ветре

При взлете в условиях усиления встречного ветра с высотой на ВС, попадающее в слой с более сильным ветром, действует большая подъемная сила, чем на нижележащих уровнях, и его фактическая траектория набора высоты располагается выше заданной (ВС “подбрасывает”). Это может привести к переходу на закритические углы атаки и к сваливанию ВС.

2. Скорость ветра с высотой резко уменьшается (рис. 9.11)

При посадке ВС, движущееся против ветра, попадает в нижележащий слой с более сильным встречным ветром. Воздушная скорость и подъемная сила увеличиваются. Посадка в таких условиях сопровождается “подбрасыванием”, перелетом заданной точки касания ВПП и выкатыванием за пределы дальней концевой полосы безопасности или за дальний конец ВПП.

Осложнения при взлете в случае ослабления встречного ветра с высотой возникают из-за падения подъемной силы и “проваливания” ВС, вследствие чего оно может выйти за нижний предел сектора безопасного набора высоты. Так как при взлете практически нет возможности дополнительного резкого увеличения силы тяги, то возникает опасность столкновения ВС с окружающими аэродром препятствиями (высокие искусственные сооружения, возвышенности).

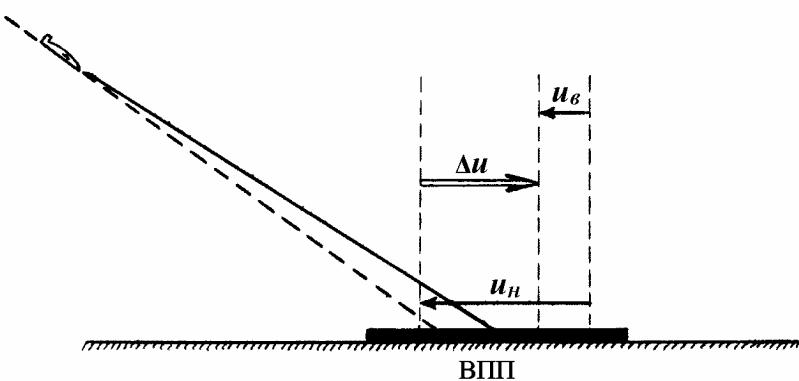


Рис. 9.11. Схема посадки ВС при усиливающемся встречном ветре

Таким образом, наиболее опасными для полетов являются сдвиги ветра, которые вызывают потерю высоты, так как при посадке они могут вызывать касание ВС земли до торца ВПП, а при взлете – выход ВС за нижний предел сектора безопасного набора высоты по курсу взлета.

3. Горизонтальный сдвиг ветра

Влияние горизонтального сдвига ветра зависит от характера изменения ветра по горизонтали. Например, при резком увеличении скорости встречного потока в направлении полета (или при ослаблении попутного ветра) наблюдается “подбрасывание”; при значительном уменьшении ветра (при усилении попутного ветра) ВС “проваливается”.

4. Боковые сдвиги ветра (рис. 9.12)

Боковые сдвиги ветра, направленные под углом к траектории движения самолета и обусловленные резким изменением направления ветра с высотой, приводят к боковым смещениям воздушного судна от расчетной траектории полета, что так же опасно при полетах вблизи поверхности земли. На взлете и посадке из-за боковых сдвигов ветра возникает тенденция к смещению самолета с осевой линии ВПП и уход влево или вправо от оси. При посадке может произойти касание земли рядом с ВПП, а при взлете – боковое смещение за пределы сектора безопасного набора высоты.

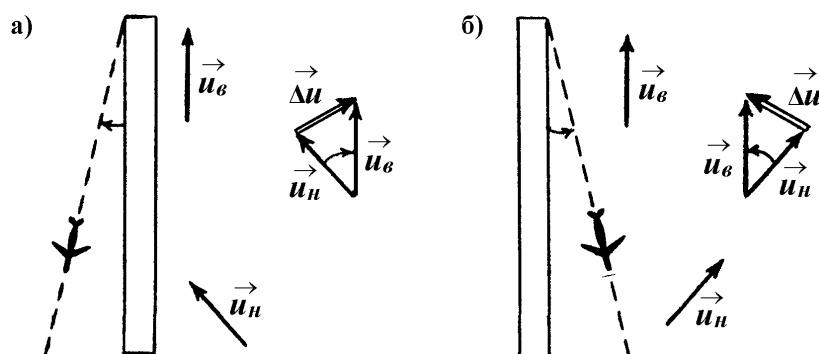


Рис. 9.12. Схема посадки ВС при боковом ветре

- а) правый поворот ветра с высотой;
- б) левый поворот ветра с высотой;

Для определения величины сдвига ветра, в первом приближении, на всех аэродромах производятся шаропилотные измерения скорости и направления ветра на высоте 100 м и высоте круга. Зная ветер у земли и на высоте 100 м, можно определить среднюю величину и характер сдвига ветра (попутный, встречный или боковой) и принять необходимое решение.

Особое значение придается сообщениям экипажей ВС, выполняющих полеты на малых высотах или на уровне круга в районе аэродрома, а также производящих взлет и посадку. В сведениях, полученных от экипажей ВС, сообщается местоположение зоны сдвигов ветра (по местным ориентирам), граница слоя (слоев), скорость и направление ветра на различных высотах.

Необходимо помнить, что вертикальный сдвиг ветра нелинейно зависит от толщины слоя, для которого проводится его оценка. Поэтому переход от значений сдвига ветра, определенных для слоев одной толщины к слоям другой толщины, должен осуществляться с учетом статистических закономерностей распределения сдвига ветра при помощи специальных графиков.

Экспериментальные исследования показывают, что распределение ветра с высотой, в среднем, характеризуется быстрым ростом скорости до высоты 100 м, более замедленным – в слое 100...500 м и незначительным – выше 500 м. Таким образом, наиболее сильные вертикальные сдвиги ветра наблюдаются от земли до высоты 100 м.

Опасные сдвиги ветра в нижних слоях атмосферы могут сочетаться с сильными вертикальными движениями воздуха и турбулентными порывами, которые также способны вызвать перемещение или броски ВС в вертикальной плоскости. При взлете или посадке в связи с близостью земли и ограниченными возможностями маневра ВС эти броски представляют значительную опасность. Совместное влияние на ВС всех перечисленных факторов может резко осложнить пилотирование в особенности в тех случаях, когда в некоторые интервалы времени воздействие различных факторов будет направлено в одну сторону.

Анализ летных происшествий, обусловленных сдвигами ветра, показывает, что сложность и опасность ситуации определяется ее полной неожиданностью для экипажа.

Характерными условиями, при которых могут наблюдаться сильные сдвиги ветра, являются:

- развитие мощных кучево-дождевых облаков (особенно грозоградовых);
- прохождение атмосферных фронтов;
- образование задерживающих слоев;
- особенности орографии или застройки района аэродрома.

Мощные грозовые очаги вызывают значительные возмущения воздушных потоков и создают в нижних слоях атмосферы чрезвычайно сложную структуру ветра:

- сильные восходящие потоки воздуха (30...40 м/с);
- интенсивные нисходящие потоки в зоне выпадения ливневых осадков (10...15 м/с и более);
- фронт порывистости перед облаками (рис. 9.13).

Фронт порывистости представляет собой узкую зону резких горизонтальных и вертикальных сдвигов ветра и сильной турбулентности в нижних слоях атмосферы вблизи кучево-дождевых облаков. Возникновение этого фронта является следствием интенсивного опускания холодного воздуха под облаком и дальнейшего растекания его в нижних слоях атмосферы. Сильный нисходящий поток холодного воздуха образуется в зоне выпадения интенсивных ливневых осадков. Этот нисходящий поток, встречая поверхность земли, расходится в стороны от грозового облака. В результате сложения скорости общего переноса с горизонтальной составляющей оттекающего воздуха суммарная скорость ветра у земли перед кучево-дождевым облаком может резко увеличиваться, достигая при этом больших значений (шквал). Слой оттекающего холодного воздуха толщиной в несколько сотен метров (до 2 км) представляет собой быстродвижущийся мелкомасштабный холодный фронт. Перед ним происходит резкий вынужденный подъем теплого воздуха, который затем вовлекается в переднюю часть облака. Фронт порывистости может распространяться от края облака на расстояние 15...20 км и существует непостоянно, а как пульсирующий процесс.

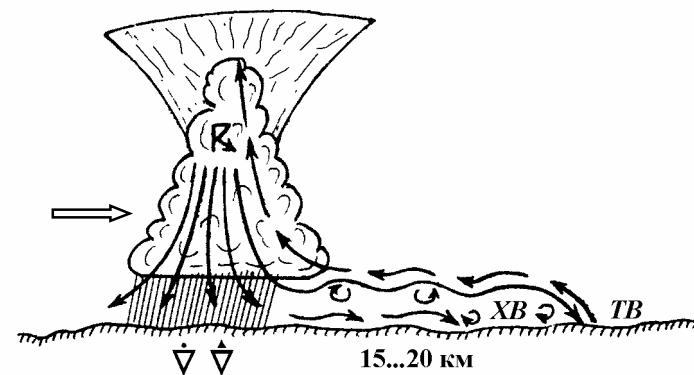


Рис. 9.13. Структура фронта порывистости

Пересечение фронта порывистости ВС в полете представляет большую опасность. При пересечении этого фронта могут происходить резкие изменения встречного ветра. Были отмечены случаи, когда воздушная скорость ВС изменялась на 25 км/ч за 2,5 сек, на 77 км/ч за 8 сек и даже на 109 км/ч за несколько секунд – при изменении ветра от встречного 64 км/ч до попутного – 45 км/ч. Наиболее опасной является ситуация, когда снижение по глиссаде будет осуществляться навстречу грозовому очагу, даже если очаг удален на 10 км и более. В этих условиях кроме данных инструментальных измерений большое значение приобретает опыт пилота по визуальной оценке складывающейся ситуации и при выполнении посадки, а также его умение оценивать изменение ветра впереди ВС по косвенным признакам (характер волнения на водных объектах вблизи аэродрома, "волны", перекатывающиеся по посевам, травянистому покрову и деревьям, полосы пыли и т.п.). Косвенным признаком наличия фронта порывистости также является **"вирга"** – видимые на фоне грозового облака полосы выпадающих в передней части облака осадков, не достигающих поверхности земли.

Сдвиги ветра при прохождении у земли атмосферных фронтов

В пределах нижнего слоя тропосфера фронтальная зона имеет ширину 40...50 км (реже – до 100 км). В этой зоне наблюдается увеличение горизонтальных градиентов всех метеорологических величин. При этом, чем больше контраст метеорологических элементов по разные стороны от фронтальной зоны, тем ярче выражена эта фронтальная зона.

При приближении фронтальной зоны усиливается горизонтальная адвекция температуры, в пограничном слое атмосферы существенно увеличиваются средние вертикальные сдвиги ветра и имеют место согласованные временные изменения скорости ветра и других метеорологических величин, которые могут продолжаться в пункте наблюдений в течение нескольких часов подряд при приближении фронта. Наиболее существенное усиление ветра вблизи поверхности земли наблюдается в 40...50 километровой зоне фронта и может быть довольно значительным, но непродолжительным, при этом могут резко увеличиваться турбулентность, а также вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра.

Сдвиги ветра, оказывающие опасное влияние на полеты воздушных судов, образуются, как правило, в зоне активных, быстroredвигущихся атмосферных фронтов, которые наблюдаются на фоне больших горизонтальных градиентов температуры и давления.

Исследования показали, что при прохождении **холодных фронтов** сильные вертикальные сдвиги ветра (5 м/с и более) в нижней части приземного слоя атмосферы (до высоты 30 м) возникают в основном за счет изменения скорости ветра, направление ветра при этом меняется мало. Кроме того, в зоне этих фронтов наблюдаются явления, связанные с формированием кучево-дождевых облаков: горизонтальные и вертикальные сдвиги ветра, сильные вертикальные потоки, турбулентность, фронты порывистости. Как правило, в зоне холодных фронтов наблюдаются значительные скорости ветра, что дополнительно увеличивает интенсивность сдвигов ветра и турбулентности.

В зоне теплых фронтов сильные вертикальные сдвиги ветра формируются за счет изменения как скорости, так и направления ветра. Причем, в самой нижней части приземного

слоя (до высоты 30 м) сильные сдвиги ветра (5 м/с и более) возникают, главным образом, за счет резкого изменения направления ветра с высотой в этом слое. Сильные горизонтальные сдвиги ветра, вертикальные потоки и турбулентность в зоне этих фронтов, как правило, не наблюдаются. Это объясняется тем, что в зоне теплых фронтов часто наблюдаются интенсивные инверсии температуры, охватывающие весь нижний слой тропосферы, которые и вызывают резкие изменения скорости и направления ветра с высотой в этом слое.

В зоне фронтов окклюзии возможны как сильные вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра, так и интенсивные вертикальные потоки на общем повышенном фоне турбулентности в нижних слоях атмосферы. Резкое усиление турбулентности в пределах нижнего слоя тропосферы в зоне окклюзирования происходит при сближении фронтальных зон холодного и теплого фронтов. Сдвиги ветра в зоне фронтов окклюзии образуются как за счет изменения направления, так и за счет изменения скорости ветра.

Сдвиги ветра при инверсиях температуры (рис. 9.14)

При устойчивой стратификации температуры турбулентный обмен количеством движения по вертикали ослаблен (слои “скользят” один по другому), поэтому слои инверсии и изотермий, как правило, приводят к существенному расслоению потоков по вертикали и образованию значительных вертикальных сдвигов ветра.

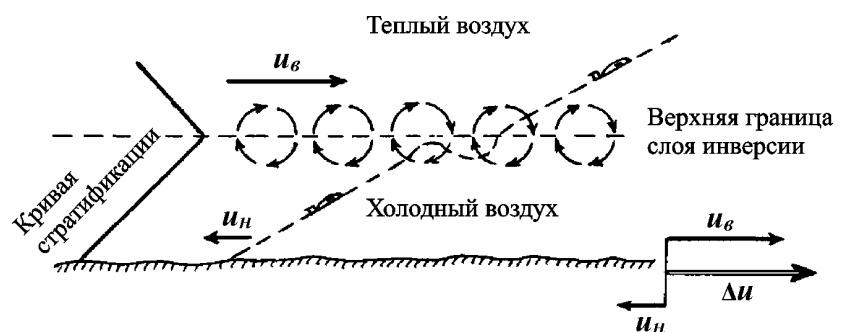


Рис. 9.14. Схема взлета ВС при инверсиях температуры

При инверсиях у земли может наблюдаться слабый ветер, и даже штиль, в то время как на верхней границе этих слоев он может достигать существенных значений (10 м/с и более) и резко меняться по направлению. Таким образом, при заходе ВС на посадку в инверсии (против ветра) обычно следует ожидать уменьшения скорости встречного ветра и “проваливание” самолета от глиссады.

Сдвиги ветра за счет особенностей орографии

В горной местности сильные вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра образуются над вершинами вследствие резкого сгущения линий тока при обтекании неровностей рельефа и с подветренной стороны за счет деформации воздушного потока. На подветренных склонах имеют место также сильные нисходящие потоки и интенсивная турбулентность.

При одних и тех же метеорологических условиях образование сильных вертикальных и горизонтальных сдвигов ветра в горной местности происходит чаще, чем над равниной. При этом чем больше скорость воздушного потока, обтекающего горные препятствия, тем больше эффект влияния на него неровностей рельефа. Даже на равнинных аэродромах при значительных скоростях ветра у земли (15 м/с и более) могут возникать существенные сдвиги ветра и турбулентность в приземном слое атмосферы. Эти явления обуславливаются мелкими неровностями рельефа (овраги, склоны, небольшие холмы), а также крупными строениями вблизи ВПП (аэроны, высокие здания, мачты, трубы и т.д.). Кроме того, сильные сдвиги ветра часто образуются при некоторых видах местных ветров, вызванных сочетанием особенностей рельефа и характера синоптической ситуации (брязы, бора, горно-долинные ветры).

9.6.1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЛЕТОВ И УПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ СДВИГОВ ВЕТРА

1. Перед заходом на посадку сравнить информацию о ветре у поверхности земли и на высоте 100 м, оценить величину сдвига ветра.

2. Сдвиг ветра менее 6 м/с на 100 м высоты при заходе на посадку можно не учитывать. Заход в этом случае выполнять в режимах, установленных РЛЭ.
3. При сдвиге ветра более или равном 6 м/с на 100 м высоты, если скорость у земли меньше, чем на высоте, необходимо увеличить режим работы двигателей, повысить приборную скорость на 10...20 км/ч, по сравнению с рекомендованной РЛЭ, и выдерживать увеличенную скорость в процессе последующего захода. Этот запас скорости необходим для компенсации ее уменьшения после входа ВС в зону сдвига ветра. Если к моменту снижения на высоту принятия решения созданный запас скорости окажется исчерпанным, несмотря на увеличенный, вплоть до номинала, режим работы двигателей, необходимо уйти на второй круг.
4. При отсутствии информации о ветре на высоте 100 м необходимо после пролета ДПРМ тщательно следить за характером возможного изменения приборной скорости. При резком уменьшении приборной скорости действовать в соответствии с рекомендацией, изложенной в пункте 3.

9.7. ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПЕПЕЛ

9.7.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВУЛКАНОВ И ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Обнаружение и прогнозирование облаков вулканического пепла является одной из наиболее сложных и важных проблем, связанных с обеспечением авиации. Она возникла во второй половине прошедшего (XX) столетия и ее опасность и важность не снижается и в настоящее время. Наоборот, в связи с увеличением интенсивности полетов и выходом на авиационные трассы воздушных судов большой пассажировместимости, влияние облаков вулканического пепла на безопасность полетов увеличивается.

Все вулканы, возникшие на Земле, не идентичны и распределение их не случайно (рис. 9.15). О вулканах много известно и еще больше неизвестно.

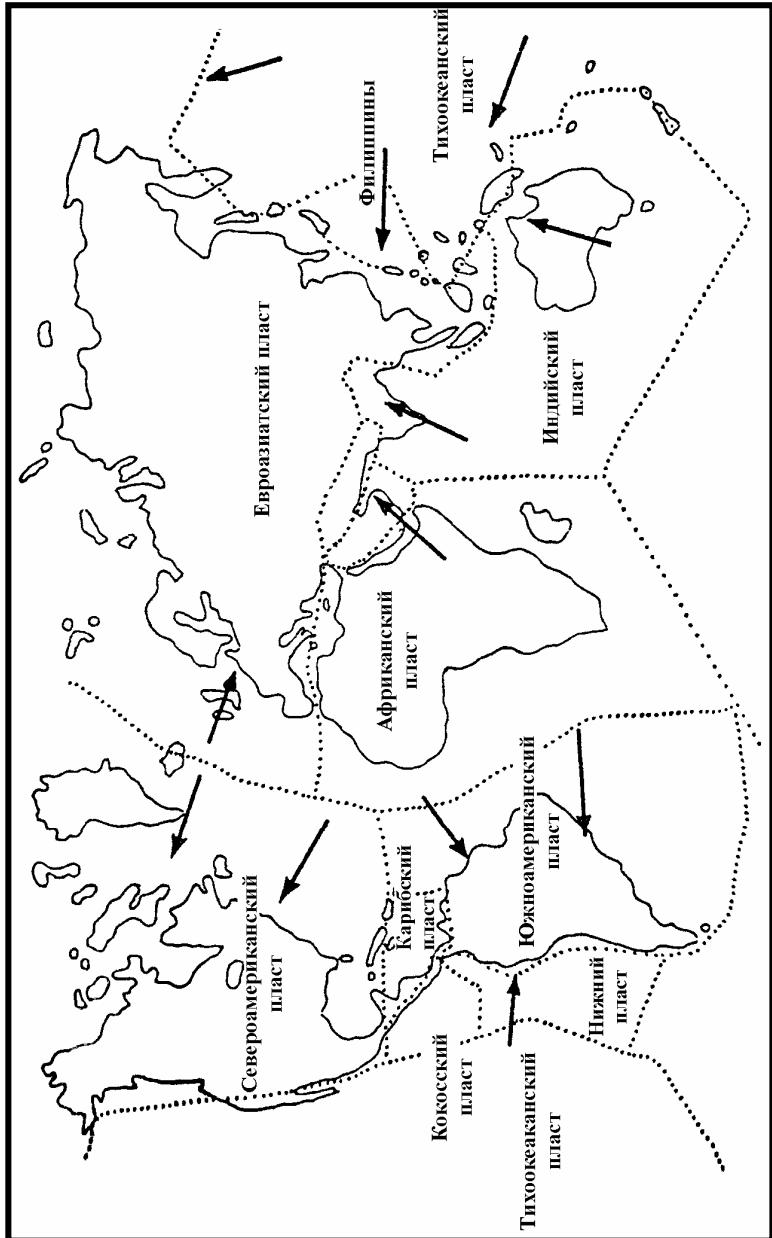


Рис. 9.15. Основные земные тектонические пласти и среднее направление их движения

В зависимости от причин возникновения вулканы подразделяются на три типа – субдукционные, рифтовые и горячие.

Субдукционные вулканы образуются за счет схождения тектонических пластов. Около 80% всех известных вулканов образуются в зонах субдукции.

Рифтовые вулканы образуются за счет расхождения тектонических пластов. К этой категории относятся 15% известных вулканов. Примером может служить вулканическая активность в Исландии.

Горячие вулканы (5%) встречаются в недрах тектонических пластов за счет локальных горячих струек, поднимающихся из магмы.

Кроме этого, вулканологи делят извержения вулканов на эфузивные и взрывные.

При **эфузивных извержениях** большая часть продуктов извержения принимает форму лавы, медленно стекающей с горы.

Взрывные извержения происходят в тех случаях, когда значительная часть тепловой энергии превращается в механическую, создавая выброс пепла и частиц породы.

Субдукционные вулканы в основном имеют взрывной характер, рифтовые и горячие в глубоководных зонах имеют эфузивный характер, а на континентальной суще – взрывной.

Предсказать момент извержения вулкана с точностью, необходимой для практических целей, очень трудно. С учетом скорости извержения продукты извержения мгновенно достигают высоты полета современных реактивных самолетов. Предупредить об извержении за такой краткий срок не представляется возможным. Поэтому оперативная вулканологическая служба использует все имеющиеся в настоящее время средства обнаружения вулканической деятельности:

- спутниковая информация;
- сейсмографы;
- визуальные наблюдения за деформацией гор;
- геохимические исследования газов и конденсатов;
- геофизические изменения магнитных колебаний;
- дистанционное зондирование атмосферы с помощью радиометров.

Но самым надежным способом избежать столкновения ВС с вулканическим пеплом является оснащение ВС дистанционными датчиками зондирования атмосферы. Работы в этом направлении ведутся и можно ожидать, что в обозримом будущем такое оборудование появится.

9.7.2. ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПОЛЕТОВ

Все вещества, выбрасываемые из вулканов в атмосферу, называют *тефра*. Она состоит из осколков пород различных размеров и пыли. Скорость тефры на выходе из взрывных вулканов может достигать нескольких сотен метров в секунду. Облако тефры достигает высоты нескольких десятков километров (до 80 км). Например, при извержении вулкана Асама в 1983 году частицы диаметром 5 см достигали высоты 15 км при скорости выброса не менее 500 м/с.

Вулканический пепел является составной частью тефры, размеры его частиц достигают 2 мм. Химический состав пепла изменяется в очень значительных пределах, но во всех случаях преобладает двуокись кремния при наличии окисей алюминия, натрия, калия, железа и магния. Встречи воздушных судов с облаками вулканического пепла происходят достаточно редко, однако такие инциденты случаются и могут быть крайне опасными. После тщательного изучения воздействия вулканического облака на воздушные суда технологическими и научными группами ICAO было установлено, что при попадании воздушного судна в облако вулканического пепла наблюдается:

- абразивный износ лобовых стекол, передних кромок крыльев и посадочных огней на воздушном судне;
- коррозия лопаток компрессора;
- блокировка систем пилотирования;
- повреждение систем наддува и кондиционирования воздуха;
- загрязнение масляной системы двигателей;
- прекращение горения топлива, помпаж, потеря высоты.

Самую большую опасность представляет проникновение частиц пепла в реактивный двигатель. Попавший в двигатель пепел может расплавиться, а затем снова затвердеть в виде стекловидной породы. Работа двигателя может нарушиться вплоть до полной остановки. Не исключена возможность остановки всех двигателей одновременно. Такой инцидент отмечался 24 июня 1982 г., когда все двигатели Боинга 747 Британской авиакомпании заглохли после столкновения с облаком пепла на высоте 11285 м. Самолет резко снизил высоту до 3965 м, прежде чем удалось восстановить работу двигателей. Был отмечен тихий электрический разряд и едкий запах, исходящий, вероятно, от газов, таких как двуокись серы, находящихся в частицах пыли и высвобожденных при столкновении. Аналогичные инциденты произошли с другими самолетами в тот же день и с промежутками в последующие недели.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Какие явления и условия погоды относятся к опасным для полетов на низких уровнях, в том числе для полетов по ПВП?
2. Какие явления и условия погоды относятся к опасным для полетов на высоких и средних уровнях?
3. Какие явления и условия погоды относятся к опасным по аэродрому?
4. При наличии каких опасных метеорологических явлений на аэродроме командир воздушного судна обязан прекратить снижение и уйти на второй круг?
5. Что такое смерч?
6. Что такое шквал?
7. Что называется мглой?
8. Что называется пыльной (песчаной) бурей?
9. Что называется поземком (пыльным, песчаным, снежным)?
10. Что называется низовой метелью (пыльной, песчаной, снежной)?
11. Что называется общей метелью?
12. Что является причиной образования гололедных явлений?
13. Что называется туманом?
14. Что называется дымкой?
15. Какие бывают туманы в зависимости от синоптических условий образования?
16. Какие бывают внутримассовые туманы в зависимости от процесса, приводящего воздух в состояние насыщения водяным паром?

17. Какие бывают туманы охлаждения?
18. Что является причиной образования радиационных туманов?
19. Когда образуются радиационные туманы?
20. В каких барических системах образуются радиационные туманы?
21. Как распределяется видимость по вертикали в радиационных туманах?
22. Что является причиной образования адвективных туманов?
23. В каких барических системах образуются адвективные туманы?
24. Как распределяется видимость по вертикали в адвективных туманах?
25. Какие причины приводят к образованию фронтальных туманов?
26. Какие особенности радиационных туманов необходимо учитывать при выполнении полетов и обслуживании воздушного движения?
27. Какие особенности адвективных туманов необходимо учитывать при выполнении полетов и обслуживании воздушного движения?
28. Какие особенности фронтальных туманов необходимо учитывать при выполнении полетов и обслуживании воздушного движения?
29. Что называется обледенением ВС?
30. Что называется интенсивностью обледенения?
31. От каких факторов зависит интенсивность обледенения?
32. Какие бывают виды обледенения?
33. Какой лед может откладываться на поверхности ВС при обледенении?
34. Какое бывает обледенение ВС в зависимости от формы и его распределения по поверхности крыла?
35. Каким образом интенсивность обледенения зависит от температуры воздуха?
36. Что называется водностью облака?
37. При какой водности облака наблюдается сильное обледенение?
38. Каким образом на интенсивность обледенения влияет профиль крыла ВС?
39. Каким образом на интенсивность обледенения влияет скорость полета ВС?
40. Где больше кинетический нагрев поверхности воздушного судна – в облаках или в безоблачном небе и почему?
41. Какие существуют рекомендации по выходу из зоны обледенения в теплое время года?
42. Какие существуют рекомендации по выходу из зоны обледенения в холодное время года?
43. Что называется грозой?
44. В каких облаках могут наблюдаться грозы?
45. Дать характеристику микроструктуры и электрической структуры грозового облака.
46. Из каких облаков выпадает град?
47. Какие условия необходимы для образования грозового облака?
48. Какие опасные явления наблюдаются в грозовых облаках и в непосредственной близости от них?
49. Что происходит при электризации воздушных судов?
50. Какие существуют методы наблюдений за грозами?
51. Что такое атмосферики (атмосферные радиопомехи)?
52. Какие бывают грозы в зависимости от синоптических условий образования?
53. Какие процессы приводят к образованию внутримассовых гроз?
54. Что является предвестником развития внутримассовых конвективных гроз?
55. В каких барических системах образуются внутримассовые грозы?
56. Какие процессы приводят к образованию гроз на холодных фронтах?
57. Когда обостряются (становятся наиболее опасными) грозы на холодных фронтах?
58. Когда образуются грозы на теплых фронтах?
59. Какие процессы приводят к образованию гроз на теплых фронтах?
60. Какой характер имеют грозовые облака на теплых фронтах?
61. Что является предвестником образования гроз на холодных фронтах?
62. Какие существуют рекомендации по обходу отдельных мощнокучевых и кучево-дождевых (грозовых) облаков визуально?
63. Какие существуют рекомендации по обходу отдельных мощнокучевых и кучево-дождевых (грозовых) облаков по радиолокатору?
64. Какие существуют рекомендации по обходу грозовой облачности над верхней границей?
65. Какие существуют рекомендации по полетам между грозовыми очагами?
66. Какие существуют рекомендации при полетах под грозовыми облаками в равнинной и холмистой местности?
67. Какие существуют рекомендации при полетах под грозовыми облаками в горной местности?
68. Что называется болтанкой ВС?
69. Какие факторы обуславливают болтанку ВС?
70. Как оценивается интенсивность болтанки ВС?
71. При каких значениях прироста перегрузки (Δn) наблюдается умеренная болтанка при взлете и посадке ВС?
72. При каких значениях прироста перегрузки (Δn) наблюдается сильная болтанка при взлете и посадке ВС?
73. При каких значениях прироста перегрузки (Δn) наблюдается умеренная болтанка ВС при полетах на эшелоне?
74. При каких значениях прироста перегрузки (Δn) наблюдается сильная болтанка ВС при полетах на эшелоне?

75. Что является причиной возникновения термической турбулентности?
76. Что является причиной возникновения динамической турбулентности?
77. Что является причиной возникновения орографической турбулентности?
78. При каких значениях вертикальных сдвигов ветра (ВСВ) наблюдается сильная болтанка в свободной атмосфере вне кучеообразных облаков?
79. При каких значениях горизонтальных сдвигов ветра (ГСВ) наблюдается сильная болтанка в свободной атмосфере вне кучеообразных облаков?
80. Что называется турбулентностью при ясном небе – ТЯН (CAT – clear air turbulence)?
81. При каких значениях горизонтальных градиентов температуры наблюдается сильная болтанка ВС при полетах на высотах?
82. При полетах в каких облаках наблюдается самая сильная болтанка ВС?
83. На каком расстоянии рекомендуется обходить вертикальные вихри, связанные с кучево-дождовыми облаками и обнаруженные визуально?
84. Что называется сдвигом ветра?
85. Какие критерии рекомендованы ICAO для оценки вертикальных сдвигов ветра в приземном слое (м/с на 30 м высоты)?
86. Какие критерии рекомендованы ICAO для оценки горизонтальных сдвигов ветра в приземном слое (м/с на 600м расстояния)?
87. Какие критерии значений скорости восходящих и нисходящих потоков (м/с) рекомендованы ICAO для оценки сдвигов ветра в приземном слое?
88. При каких условиях наиболее вероятно образование сдвигов ветра в приземном слое воздуха?
89. Что называется фронтом порывистости или линией шквалов?
90. На какое расстояние от границы кучево-дождевого облака распространяется фронт порывистости или линия шквалов?
91. До какой высоты над земной поверхностью распространяется фронт порывистости или линия шквалов?
92. Какие существуют внешние метеорологические признаки вероятного наличия сдвигов ветра в приземном слое?
93. Какие сдвиги ветра наблюдаются при прохождении холодных фронтов?
94. Какие сдвиги ветра наблюдаются при прохождении теплых фронтов?
95. Какие сдвиги ветра наблюдаются при прохождении фронтов окклюзии?
96. Какие сдвиги ветра образуются при инверсиях температуры?
97. Какие сдвиги ветра образуются в горной местности?
98. На какие типы подразделяются вулканы в зависимости от причин возникновения?
99. За счет чего и где возникают субдукционные вулканы?
100. За счет чего и где возникают рифтовые вулканы?
101. Какие извержения вулканов называются эфузивными?
102. Какие извержения вулканов называются взрывными?
103. Что такое тефра?
104. Чему равняется скорость тефры на выходе взрывных вулканов?
105. До каких высот может достигать облако тефры?
106. Какие химические элементы преобладают в составе вулканического пепла.
107. Что происходит при попадании частиц вулканического пепла в реактивный двигатель?

ГЛАВА 10. ВЫСОТНЫЕ И ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТОВ

В соответствии с существующей классификацией по высоте полеты подразделяются на:

- полеты на предельно малых высотах – до 200 м (включительно) над рельефом местности или водной поверхностью;
- полеты на малых высотах – выше 200 м и до 1000 м (включительно) над рельефом местности или водной поверхностью;
- полеты на средних высотах – выше 1000 м и до 4000 м (включительно) от уровня моря;
- полеты на больших высотах – выше 4000 м и до 12000 м (включительно) от уровня моря;
- полеты в стратосфере – выше 12000 м от уровня моря;

По высотным особенностям метеорологических условий полетов особого внимания заслуживают малые (предельно малые) и большие высоты.

На малых высотах производится взлет и посадка ВС. Условия полетов осложняются из-за низкой облачности и плохой видимости, турбулентности, вызывающей болтанку ВС, гроз, шквалов, смерчей, сдвигов ветра в приземном слое.

Метеорологические условия полетов на больших высотах, как правило, более благоприятные, чем на малых высотах. Сложные метеорологические условия на этих высотах могут обуславливаться вершинами кучево-дождевых облаков, сопровождающихся сильным обледенением, болтанкой и грозами; наличием кристаллических облаков верхнего яруса, вызывающих электризацию ВС; положением тропопаузы; струйными течениями.

Полеты воздушных судов гражданской авиации проводятся в тропических и полярных областях, в горных районах, над пустынями, над большими водными пространствами и побережьями. Это определяет большое разнообразие погодных условий и необходимость их знания и учета при полетах в различных физико-географических и климатических зонах.

10.1. РОЛЬ ТРОПОПАУЗЫ В ПОГОДНЫХ ПРОЦЕССАХ НА БОЛЬШИХ ВЫСОТАХ

В тропопаузе температура воздуха с высотой может: увеличиваться (слой инверсии), оставаться постоянной (слой изотермии) или очень медленно понижаться, в среднем на $0,1^{\circ}\text{C}...0,2^{\circ}\text{C}$ на 100 м. Вследствие такого изменения температуры с высотой тропопауза является задерживающим слоем для процессов, происходящих в тропосфере. Под тропопаузой скапливаются: пыль, дым, водяной пар, образуются облака и плотные дымки, которые ухудшают видимость. Как правило, тропопауза является верхней границей кучево-дождевых облаков. Обход грозовых облаков под тропопаузой представляет большую сложность, так как вершины кучево-дождевых облаков растекаются и расстояние между ними уменьшается. Нередко под тропопаузой образуются конденсационные следы за самолетами. Они возникают вследствие конденсации водяного пара, выделяющегося при сгорании авиационного топлива, и быстрого перехода капель воды в кристаллы льда (в процессе сгорания 1 кг топлива участвует 11 кг атмосферного воздуха, в результате образуется около 12 кг выхлопных газов, в том числе 1,4 кг водяного пара).

Высота тропопаузы в стандартной атмосфере составляет 11 км, а в реальных условиях она непостоянна и зависит от:

1. Географической широты:
 - над полюсом 8...10 км;
 - в умеренных широтах 10...12 км;
 - над экватором 16...18 км.
2. Времени года и суток.
3. Барических систем (в циклоне тропопауза в среднем на 2...3 км ниже, чем в антициклоне).
4. Характера проходящего атмосферного фронта (при прохождении теплого фронта тропопауза повышается, при прохождении холодного фронта – понижается).

В результате неравномерного по высоте залегания тропопаузы воздушные потоки под тропопаузой резко меняются по направлению и скорости движения. Это вызывает болтанку ВС. Особенно сильная болтанка при полете в зоне тропопаузы и при ее пересечении наблюдается в тех районах, где ее наклон к

плоскости горизонта – тангенс угла наклона (рис. 10.1) – составляет 1/300 и более. Пересекать тропопаузу в таких районах не рекомендуется. Кроме этого, болтанка в зоне тропопаузы может возникать за счет ее волновых колебаний.

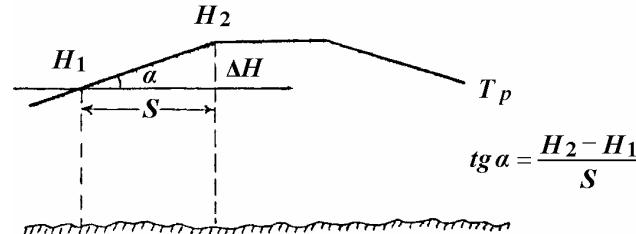


Рис. 10.1. Определение наклона тропопаузы

В период предполетной подготовки положение тропопаузы вдоль маршрута полета, место ее пересечения и наклон тропопаузы можно определить с помощью карт тропопаузы (рис. 11.8).

В полете тропопауза определяется по характеру изменения температуры и другим признакам, наиболее характерными из которых являются:

- уменьшение или прекращение падения температуры воздуха с высотой;
- изменение цвета неба на более контрастный, темный;
- исчезновение конденсационных следов за самолетом.

10.2. СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ, ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ПОЛЕТОВ В НИХ

Струйным течением (СТ) называется узкая зона сильных ветров со скоростью 100 км/ч (30 м/с) и более большой горизонтальной протяженности.

Максимальная скорость ветра наблюдается в центральной части СТ, которая называется **осью СТ**. Вправо и влево от оси скорость ветра уменьшается. При этом горизонтальные сдвиги ветра могут достигать 10 м/с и более на 100 км расстояния, а вертикальные – 5...10 м/с и более на 100 м высоты.

СТ могут наблюдаться как в тропосфере (тропосферные СТ), так и в стратосфере (стратосферные СТ). При этом тропосферные СТ бывают: внетропические, субтропические и экваториальные.

В Северном полушарии тропосферные СТ направлены, как правило, с запада на восток, но иногда они могут отклоняться к югу или к северу.

В поперечном сечении СТ может быть представлено в виде сильно сплющенной “трубы” (рис. 10.2).

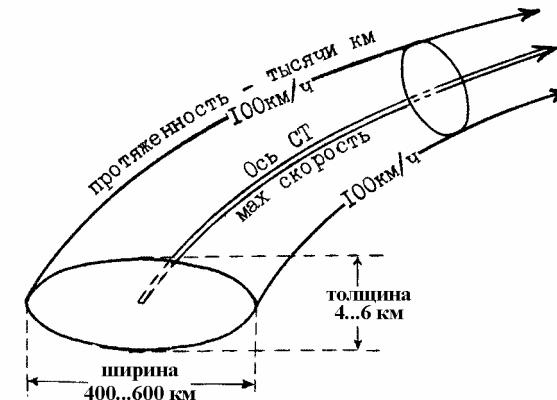


Рис. 10.2. Схематическое изображение СТ

Тропосферные СТ наблюдаются на высотах 7...11 км. Ось СТ обычно располагается на 1,5...2,0 км ниже тропопаузы.

На территории СНГ СТ чаще образуются в холодное время года. Максимальная скорость ветра (до 300 км/ч и более) наблюдается над Дальним Востоком, над остальной территорией она достигает порядка 200 км/ч.

Наиболее интенсивными и устойчивыми являются субтропические СТ. Максимальные скорости (650...750 км/ч и более) наблюдаются над Японией и Тихим океаном.

Для СТ характерно неодинаковое распределение температуры и давления на правой и левой сторонах (рис. 10.3). На правой стороне от оси находится ТВ и наблюдается высокое давление, поэтому эта сторона называется антициклонической

или теплой. На левой стороне находится ХВ и наблюдается низкое давление, поэтому эта сторона называется циклонической и холодной. Такое распределение температуры и давления в СТ объясняется тем, что в ХВ барическая ступень значительно меньше, чем в ТВ. Поэтому, на высотах низкое давление будет наблюдаться в ХВ, а высокое – в ТВ. А так как СТ – это ветер, то в Северном полушарии оно направлено таким образом, чтобы слева оставалось низкое давление и, следовательно, ХВ, а справа – высокое давление и ТВ.

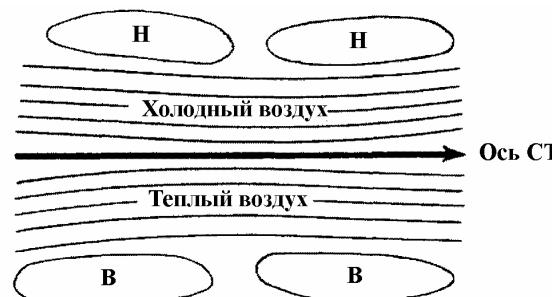


Рис. 10.3. Распределение температуры и давления в струйном течении

Внетропические СТ связаны с главными атмосферными фронтами и высотными фронтальными зонами (ВФЗ). Процесс образования СТ можно объяснить следующим образом (рис. 10.4). Большие контрасты температуры ($8^{\circ}\text{C}...10^{\circ}\text{C}$ и более), наблюдаемые по обе стороны фронта, являются причиной возникновения больших горизонтальных градиентов давления, а значит, и силы горизонтального барического градиента. Под воздействием этой силы начинается восходящее движение ТВ по фронтальной поверхности. При этом, чем больше контраст температуры, тем интенсивнее движение. В верхних слоях тропосфера ТВ встречает мощный задерживающий слой – тропопаузу. Тропопауза сверху, а фронтальная поверхность снизу образуют своего рода воздушные барьеры, ограничивающие свободный подъем ТВ. Под напором поднимающихся снизу масс воздуха верхний ТВ, “зажатый” с одной стороны тропопаузой,

а с другой – фронтальной поверхностью, приобретает большую скорость и проносится вдоль ВФЗ как бы вдоль своеобразной аэродинамической трубы. Восходящие движения ТВ могут “поднимать” тропопаузу над СТ. Поэтому на левой стороне СТ тропопауза, как правило, имеет очень крутой наклон.

Ось СТ, в основном, параллельна атмосферным фронтам, с которыми оно связано. Если СТ связано с ТФ, то оно располагается в верхней тропосфере впереди приземной линии теплого фронта на расстоянии 400...500 км. Если же участок СТ связан с ХФ, то СТ располагается в верхней тропосфере позади приземной линии ХФ на расстоянии 100...300 км (рис. 10.4).

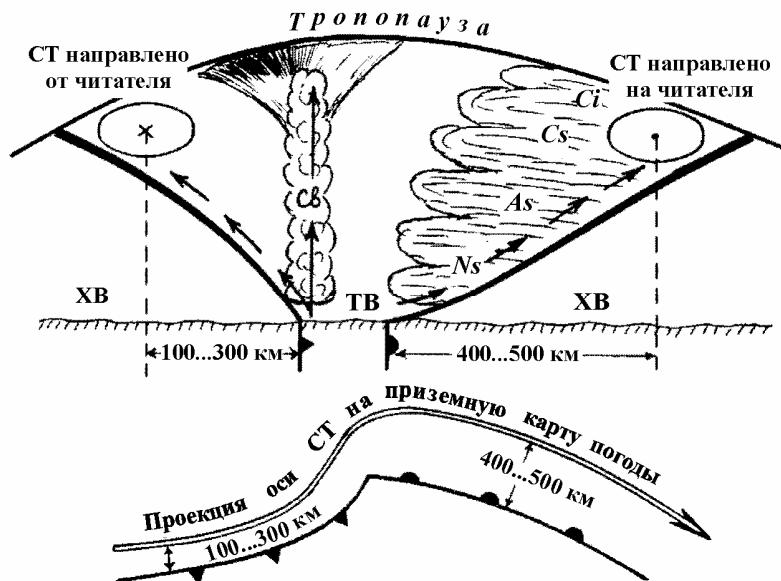


Рис. 10.4. Синоптические условия образования струйного течения

СТ могут наблюдаться при ясном небе, но иногда они сопровождаются облаками верхнего яруса, которые располагаются преимущественно на правой стороне СТ. Сильными ветровыми потоками облака расчленяются на отдельные полосы, которые быстро перемещаются и своим движением указывают

направление СТ. Облака обычно располагаются ниже оси СТ на несколько сотен метров. В облаках возможна болтанка ВС, интенсивность которой можно определить по внешнему виду облаков – чем “неспокойнее” их вид, тем сильнее болтанка.

Наиболее опасным явлением в зоне СТ является возникновение на его периферии очагов турбулентности. Причиной возникновения этих очагов является сильное торможение СТ на его внешних границах окружающим более спокойным воздухом. В связи с резким торможением потока образуются сдвиги ветра, приводящие к вихреобразованию. При этом очаги турбулентности чередуются со спокойными участками, их интенсивность и местоположение непрерывно изменяются. Наиболее интенсивными и опасными турбулентные очаги бывают на левой, циклонической стороне СТ, где горизонтальные сдвиги ветра в 1,5...2 раза больше, чем на правой стороне (рисунки 10.5 и 10.6).

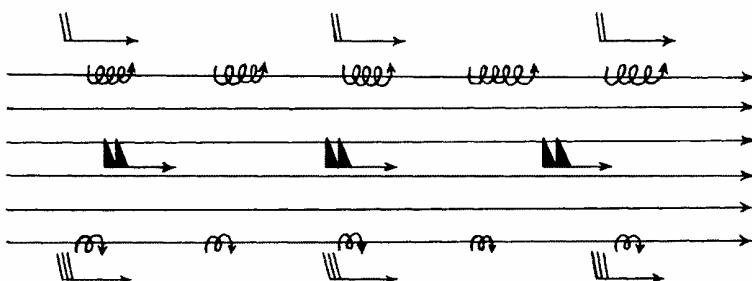


Рис. 10.5. Вихреобразование в струйном течении

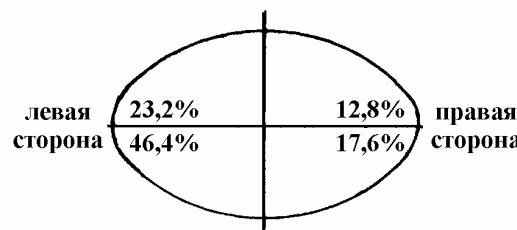


Рис. 10.6. Повторяемость болтанки в различных частях струйного течения

При отсутствии облаков, ТЯН, вызывающая сильную болтанку, может начаться внезапно для экипажа и привести к тяжелым последствиям. Опасная болтанка в зоне СТ наблюдается в тех районах, где горизонтальные сдвиги ветра более 6 м/с на 100 км расстояния, и/или вертикальные – более 3 м/с на 100 м высоты. Толщина слоя сильной болтанки, как правило, 300...600 м.

Самые благоприятные условия для полетов наблюдаются в центральной части СТ и на его правой стороне. Но при этом необходимо учитывать, что при полетах в СТ на высотах, близких к потолку, отклонение ВС в сторону повышения температуры представляет опасность, так как не исключена возможность его выхода в область значительных положительных отклонений температуры от стандартной атмосферы. В этих случаях ВС может оказаться на высоте выше предельно допустимой, его устойчивость и управляемость будут нарушаться, оно может непроизвольно терять высоту и “проваливаться”. Если при этом в атмосфере происходят вертикальные пульсации ветра, ВС может попасть на критические углы атаки и срывные режимы.

10.2.1. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПОЛЕТОВ И УПРАВЛЕНИЮ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ В ЗОНАХ СТРУЙНЫХ ТЕЧЕНИЙ

- Перед полетом и заступлением на смену по обслуживанию воздушного движения проанализировать аэросиноптические материалы, обращая особое внимание на карты АТ-400, 300 и 200 гПа, данные радиозондирования атмосферы, карту максимальных ветров (рис. 11.9).
- Если при полете наблюдается попутное СТ, необходимо использовать его. При этом рекомендуется лететь в центральной его части или на правой стороне.
- Встречное СТ рекомендуется обходить с левой стороны СТ по полету.
- Пересекать СТ можно ниже оси на 1,5...2,0 км или выше тропопаузы.

5. При попадании в зону болтанки, связанную с попутным СТ, необходимо изменить эшелон или уклониться вправо (с учетом отклонения температуры от СА).
6. Пересекать тропопаузу в зоне СТ не рекомендуется.
7. При обнаружении СТ командир ВС обязан немедленно сообщить диспетчеру о его направлении, скорости и явлениях, связанных с ним.
8. Обнаружить СТ в полете можно по облачным полосам, тянувшимся вдоль его направления, и по сносу самолета, при этом:
 - если наблюдается сильный левый снос и температура воздуха повышается, то ВС входит в СТ с левой стороны;
 - если наблюдается сильный правый снос и температура воздуха понижается, то ВС входит в СТ с правой стороны;
 - если при горизонтальном полете вдоль СТ температура воздуха остается постоянной, а путевая скорость увеличивается (уменьшается), то СТ попутное (встречное).

10.3. МЕСТНЫЕ ВЕТРЫ

В отдельных районах под влиянием местных физико-географических условий образуются воздушные течения, имеющие сравнительно небольшую горизонтальную и вертикальную протяженность и отличающиеся характерными особенностями. Такие воздушные течения называются **местными ветрами**. Они могут возникать из-за неравномерного нагревания подстилающей поверхности (суши, воды, горных склонов и долин) или же из-за особенностей обтекания орографических препятствий воздушными потоками. К местным ветрам относятся бризы, горно-долинные ветры, ледниковые ветры, бора, фён и другие.

Бризы – это ветры с суточной периодичностью, возникающие на побережьях морей, больших озер и широких рек. Причиной их возникновения является неравномерное нагревание и охлаждение суши и моря в течение суток.

Дневной (морской) бриз дует с холодной водной поверхности на нагретую сушу, а **ночной (береговой) бриз** – с охлажденной суши на более теплую водную поверхность (рис. 10.7).

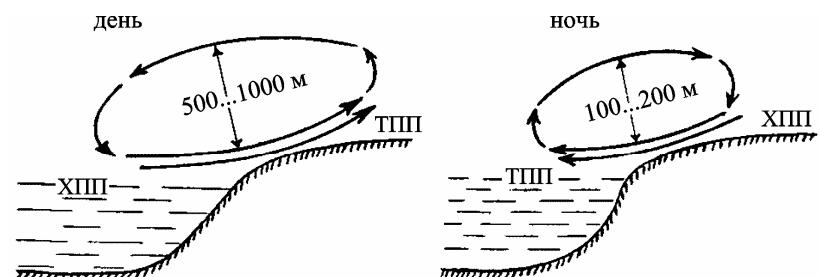


Рис. 10.7. Схема образования бризовой циркуляции

Морской бриз возникает около 9...11 часов утра местного времени, распространяется вглубь суши на 20...40 км, вертикальная мощность его достигает нескольких сотен метров (иногда до 1000 м). Максимальные скорости достигают 4...6 м/с и наблюдаются после полудня.

Береговой бриз образуется после захода Солнца и в течение ночи проникает вглубь моря на 8...10 км.

В умеренных широтах бризы наблюдаются в теплую половину года, более четко они выражены в ясную погоду, если отсутствует или ослаблен общий перенос воздуха. Над бризом наблюдается ветер противоположного направления примерно такой же вертикальной мощности, называемый **антибризом**.

Хорошо развитые бризы наблюдаются на Черном, Азовском и Каспийском морях, слабее – на Белом море, на Ладожском и Онежском озерах. В тропических районах бризы наблюдаются круглый год.

При полетах в районах, где наблюдается бризовая циркуляция, необходимо учитывать смену направлений ветра у земли и на высоте круга в утренние и в вечерние часы.

Горно-долинные ветры – подобно бризам имеют суточную периодичность и возникают из-за неравномерного нагревания и охлаждения склонов гор и долин днем и ночью (рис. 10.8).

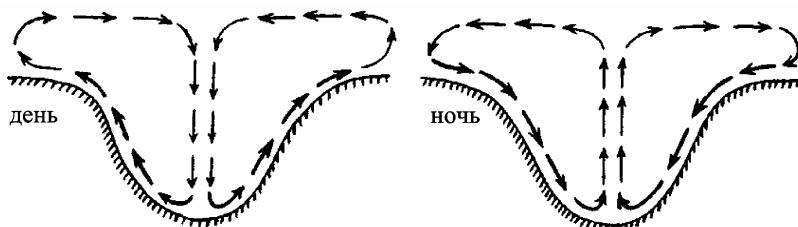


Рис. 10.8. Схема образования горно-долинных ветров

Днем склоны гор и прилегающий к ним воздух нагреваются быстрее и сильнее, чем воздух, удаленный от склонов. Вследствие этого более легкий теплый воздух поднимается по склонам гор вверх. Такой ветер называется **долинным**.

Ночью склоны гор и прилегающий к ним воздух охлаждаются быстрее, чем воздух, удаленный от склонов. Поэтому более холодный воздух опускается вдоль склонов вниз. Так образуется **горный ветер**.

Скорость долинных ветров обычно не превышает 3...6 м/с, а скорость горных ветров может достигать 20 м/с и более. Это может привести к сильной болтанке и резким броскам воздушных судов вниз.

Ледниковые ветры дуют над ледником вниз по течению ледника. Они не имеют суточной периодичности, потому что ледник охлаждает воздух в течении всех суток. Над ледником, как правило, наблюдается инверсия, поэтому холодный воздух дует (стекает) вниз. Над ледниками Кавказа скорость таких ветров достигает 5...7 м/с. Ледниковые ветры в огромных масштабах наблюдаются в Антарктиде. Здесь они называются **стоковыми ветрами**. В связи с тем, что на движение воздуха в данном случае влияет не только сила горизонтального барического градиента, а и сила тяжести Земли, скорость стоковых ветров достигает 20 м/с и более.

Бора – это сильный холодный порывистый ветер, возникающий при сваливании холодного воздуха с прибрежных невысоких гор на побережье и достаточно теплое море. Наиболее известна Новороссийская бора (в среднем 46 дней в году) на северо-восточном берегу Черного моря (рис. 10.9).

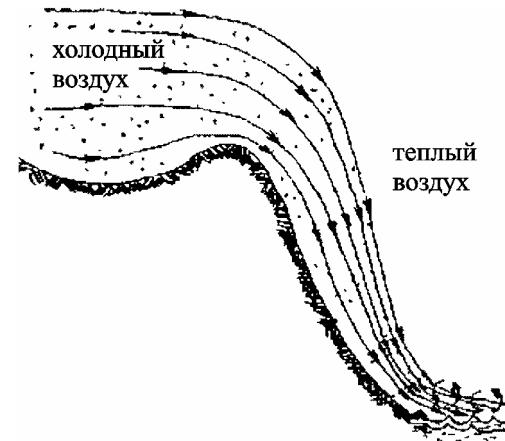


Рис. 10.9. Схема Новороссийской боры в стадии обвала

Она образуется в тех случаях, когда над Краснодарским краем России устанавливается область высокого, а над Черным морем – низкого давления. Холодная воздушная масса накапливается перед Мархотским перевалом (высота 450 м) и, достигая его вершины перед Новороссийском, обрушивается вниз. Скорость ветра достигает 40...60 м/с и более. Холодный воздух, перемешиваясь с теплым возле поверхности моря, достигает состояния насыщения. Если при этом температура воздуха ниже 0°C, создаются благоприятные условия для образования гололеда.

Местные ветры типа боры в различных географических районах называются: Сарма – близ Ольховских ворот на Байкале; Норд – в районе Баку; Мистраль – на средиземноморском побережье Франции (от Монпелье до Тулона); Нортсер – в Мексиканском заливе (Мексика, Техас); Ороси – на океаническом побережье Японии.

Фён – это сухой теплый порывистый ветер, возникающий при переваливании воздушными потоками больших горных хребтов и распространяющийся далеко на равнину. Он может наблюдаться в любое время года и суток. Главной причиной его образования является перетекание воздуха через вершину горы. Относительно теплый воздух поднимается вверх вдоль наветренного склона и охлаждается до уровня конденсации на 1°C на каждые 100 м, выше уровня конденсации – в среднем на $0,5^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м. Подъем воздуха будет сопровождаться конденсацией водяного пара, образованием облаков и выпадением осадков (рис. 10.10). Достигнув вершины горы, воздух начнет переваливать через нее и опускаться вдоль склона с подветренной стороны горы. Опускаясь, воздух будет нагреваться на 1° на 100 м, в результате этого с подветренной стороны облака размываются, и воздух в долину приходит сухим и теплым.

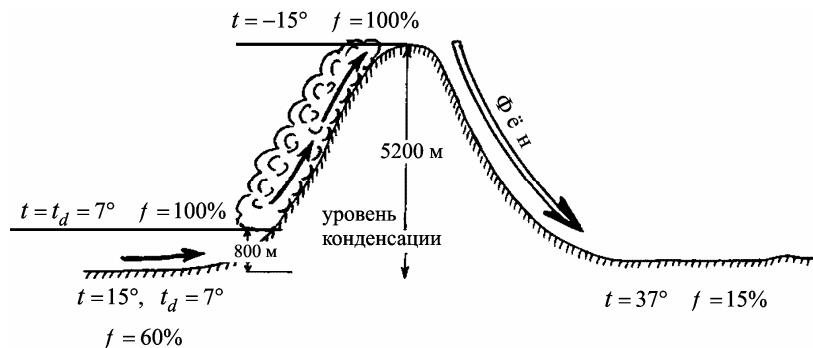


Рис. 10.10. Схема образования фёна

Изменения температуры и влажности могут быть очень быстрыми и резкими: за 1...2 часа температура может подняться на $30...40^{\circ}\text{C}$. Продолжительность фёна изменяется от нескольких часов до 5 суток и более. Скорость фёна колеблется от затишья до $15...20 \text{ м/с}$, отмечались фёны со скоростью $30...40 \text{ м/с}$.

При полетах в районах, где наблюдается фён, может произойти подсасывание воздушных судов к горе, иногда бывают резкие броски вниз.

Фёны могут возникать во всех горных районах, особенно они часты в Альпах, Карпатах, на Кавказе, в горах Средней Азии и Дальнего Востока.

10.4. ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТОВ В НИЗКИХ ШИРОТАХ

Низкоширотная зона при экваториальных и тропических широтах располагается в пределах $0...30^{\circ}$ по обе стороны экватора. Условия погоды и полетов в этой зоне очень разнообразны и обуславливаются пассатами, муссонами, внутритропической зоной конвергенции (ВЗК) и тропическими циклонами.

10.4.1. ПАССАТЫ

Пассаты – это устойчивые ветры восточной четверти, дующие в течение всего года в каждом полушарии над океанами на обращенной к экватору периферии субтропических антициклонов (рис. 10.11).

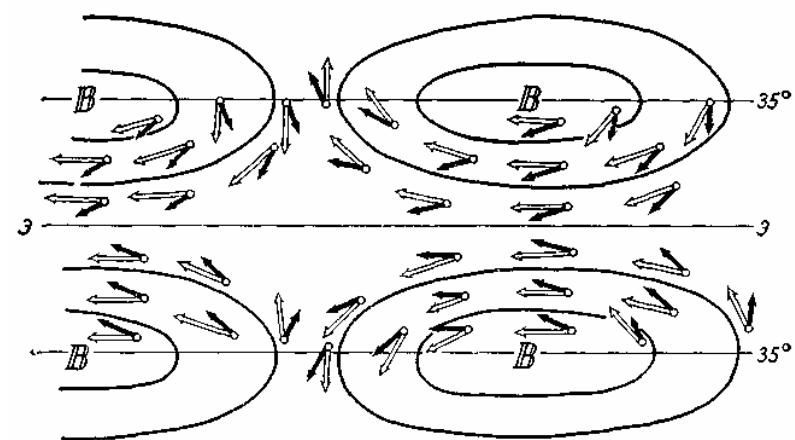


Рис. 10.11. Схема воздушных течений в зоне пассатов
Кривые линии – изобары субтропических антициклонов; сплошные стрелки – ветер у земной поверхности; двойные стрелки – ветер выше слоя трения.

Возле земной поверхности за счет трения на основное восточное направление пассатов накладываются составляющие, направленные к экватору. Поэтому преобладающим направлением пассатов Северного полушария является северо-восточное, а Южного – юго-восточное. Выше слоя трения пассаты имеют восточное направление. Но в восточных частях антициклонов к восточной составляющей добавляется составляющая, направленная к экватору, а в западных – от экватора.

Средняя скорость пассатов возле земной поверхности составляет 5...8 м/с.

В тех районах, где пассаты распространяются не на всю толщу тропосфера, ветры над ними имеют преобладающее западное направление и называются *антипассатами*.

На высотах 1200...2000 м в области пассатов наблюдается пассатная инверсия, которая образуется при опускании воздуха, характерном для хорошо развитого антициклона. Эта инверсия задерживает развитие конвекции. Поэтому облака не получают большого вертикального развития и, как правило, осадков не дают. В исключительно редких случаях из пассатных кучевых облаков могут выпадать незначительные мелкокапельные и очень кратковременные дожди, обусловленные слиянием (коагуляцией) капель.

10.4.2. МУССОНЫ

Муссоны – это устойчивые сезонные режимы воздушных течений с резким изменением преобладающего направления ветра от зимы к лету и от лета к зиме, т.е. 2 раза в год. Они наблюдаются как в тропических, так и во внутропических широтах (рис. 10.12).

Муссоны внутропических широт летом дуют с океана на сушу, зимой – с суши на океан. Причиной их возникновения является различие в нагревании и охлаждении материков и океанов на протяжении года. Летом суши нагревается сильнее, чем океан. Зимой же, наоборот, сильнее охлаждается суши.

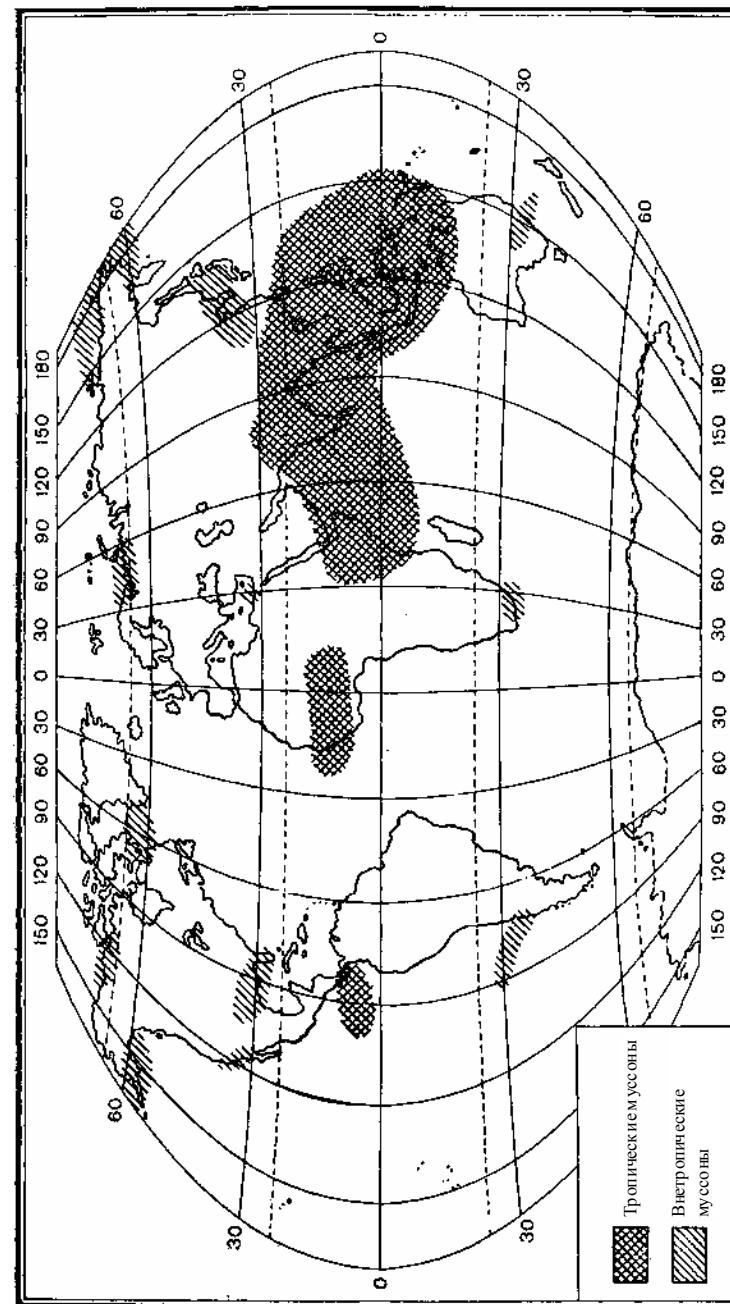


Рис. 10.12. Распределение муссонных областей по Земному шару

Это приводит к возникновению различия в распределении атмосферного давления. Над сушей летом устанавливается область низкого давления, зимой – высокого; над океанами, наоборот, летом наблюдается высокое давление, зимой – низкое. За счет этого летом возникает поток воздуха с океана на сушу в виде океанического муссона, а зимой – с суши на океан в виде материкового муссона.

Муссоны тропических широт летом Северного полушария дуют из Южного полушария в Северное, а летом Южного полушария – из Северного полушария в Южное. Они возникают за счет различия в нагревании Северного и Южного полушарий. В результате этого возникают мощные течения воздуха, охватывающие огромные территории. На направление муссонов влияет сила Кориолиса, под влиянием которой муссоны Северного полушария отклоняются вправо, а Южного – влево.

На возникновение и развитие муссонов влияет не только взаимодействие материков и океанов, но и процессы общей циркуляции атмосферы.

В районах возникновения муссонов наблюдаются особые типы погоды. Летние муссоны, дующие с океанов, вызывают пасмурную, дождливую погоду, а зимние, дующие с суши, – ясную, сухую погоду.

10.4.3. ВНУТРИТРОПИЧЕСКАЯ ЗОНА КОНВЕРГЕНЦИИ

Пассаты Северного и Южного полушарий разделены переходной зоной с неравномерными, часто слабыми, но иногда и достаточно сильными шквалистыми ветрами. В этой зоне наблюдается сходимость (конвергенция) воздушных течений (рис. 10.13), поэтому она называется **внутритропической зоной конвергенции**. Ее называют также экваториальной ложбиной, зоной схождения пассатов, внутритропическим фронтом. За счет сходимости воздушных потоков конвекция в этой зоне усиливается и распространяется до больших высот по сравнению с зонами пассатов. Сильные восходящие движения прорывают и размывают инверсию и приводят к образованию

мощно-кучевых и кучево-дождевых облаков, которые сопровождаются ливнями и грозами. Положение ВЗК на разных ее участках изменяется со временем, в достаточно широких пределах. Нередко ВЗК обостряется в узкий тропический фронт, который проходит вдоль оси экваториальной депрессии. В некоторых частях океанов в ВЗК дуют достаточно сильные (5...10 м/с) западные ветры, отделенные от пассатов Северного и Южного полушарий параллельными тропическими фронтами. Эти экваториальные западные ветры охвачивают слой воздуха от земной поверхности до высоты нескольких километров. Ширина этой зоны достигает нескольких градусов широты. Западное направление ветра объясняется тем, что возле экватора ветер дует по барическому градиенту, который на больших участках экватора направлен с запада на восток.

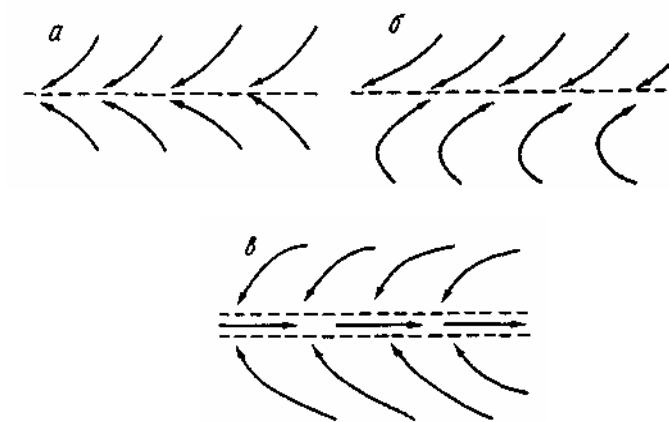


Рис. 10.13. Основные типы переноса воздуха во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК):
а – схождение воздушных потоков в пассатной ВЗК;
б – схождение воздушных потоков в муссонной ВЗК;
в – экваториальная зона западных ветров

10.4.4. ТРОПИЧЕСКИЕ ЦИКЛОНЫ

Тропическими циклонами называют вихри с низким давлением воздуха в центре и штормовой скоростью ветра, которые возникают в тропических частях всех океанов, за исключением юго-восточной части Тихого океана и Южной Атлантики (рис. 10.14).

В зависимости от интенсивности, под которой понимают максимальную скорость ветра в вихре, тропические циклоны называют:

- тропическими возмущениями (скорость ветра менее или равна 15 м/с);
- тропической депрессией (скорость ветра – 16...20 м/с; на синоптических картах обозначается “TD” – tropical depression);
- тропическим штормом (скорость ветра – 21...32 м/с; на синоптических картах обозначается “TS” – tropical storm);
- ураганом (скорость ветра более 32 м/с; на синоптических картах обозначается “H” – hurricane).

В процессе развития один и тот же циклон может изменять интенсивность от тропического возмущения до урагана. Но не все тропические циклоны достигают ураганной силы, большая часть их не выходит за пределы тропического возмущения. Всего за год на земном шаре возникает в среднем 80 тропических циклонов со штормовыми и ураганными ветрами. Максимум их, как правило, приходится на лето и осень данного полушария. Зимой их почти не бывает.

Тропические циклоны значительной интенсивности в каждом географическом районе имеют свое название. На Дальнем Востоке их называют **тайфунами** (от китайского слова “тай”, что означает “сильный ветер”); в северной части Атлантики – **ураганами** (от испанского “уракан” и английского “харрикейн”); в государствах Индийского полуострова – **циклонами**; в Австралии – **вилли-вилли**; в Океании – **вилли-вау**; на Филиппинах – **багио**.

До 1978 года тропические циклоны, достигшие ураганной силы, называли женскими именами, а с 1978 – как женскими, так и мужскими. В Атлантике, кроме имени, каждый циклон имеет порядковый номер.

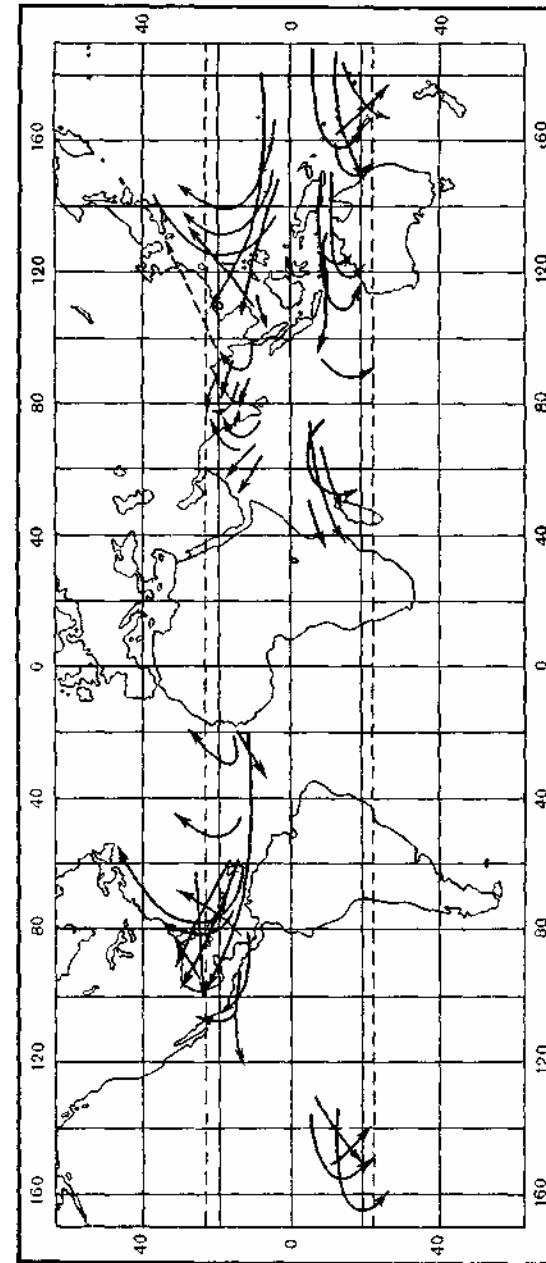


Рис. 10.14. Основные пути и районы распространения тропических циклонов

Тропические циклоны значительной интенсивности развиваются при выполнении следующих условий:

- наличие начального циклонического возмущения (высотный циклон, ложбина, тропическая депрессия);
- наличие влажного воздуха;
- температура поверхности океана не менее 27°C ;
- достаточное для создания “закручивающего эффекта” значение силы Кориолиса;
- конвективная неустойчивость, благоприятная для развития мощной конвекции.

Сформированный тропический циклон представляет собой область низкого давления диаметром до нескольких сотен километров (300...800 км, иногда до 1000 км).

Скорость перемещения тропических циклонов в тропических районах 10...20 км/ч. При выходе во внепротипические широты она увеличивается до обычных скоростей циклонов умеренных широт. При прохождении тропических циклонов наблюдаются очень сложные условия погоды (рис. 10.15).

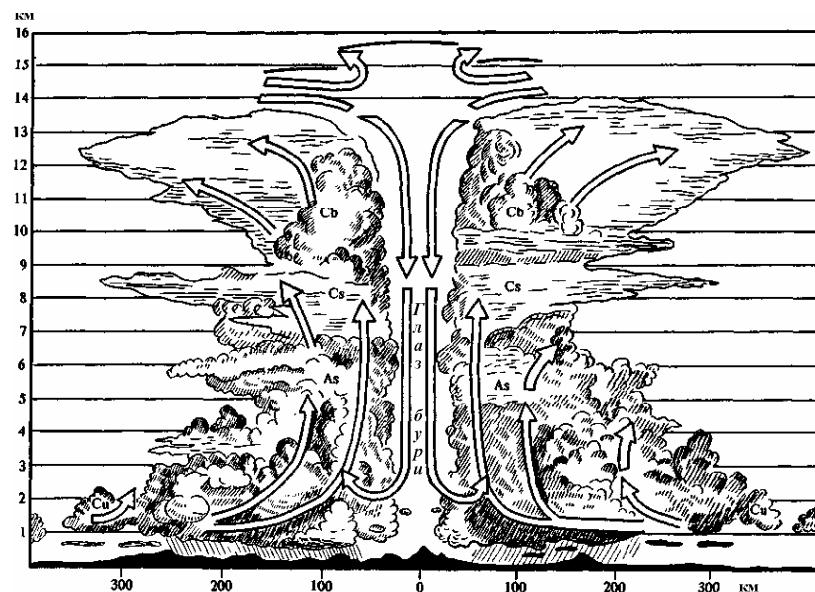


Рис. 10.15. Вертикальный разрез тропического циклона с глазом бури

Атмосферное давление в центре тропического циклона изменяется от 950...960 гПа до 855...890 гПа. Характерны большие градиенты давления: от 14...17 гПа/100 км до 60 гПа/100 км, в отдельных случаях и значительно больше.

Ветер в циклонах Северного полушария дует против часовой стрелки, а в Южном полушарии — по часовой стрелке. Скорость ветра в нижних слоях достигает 110 м/с. С высотой скорость ветра уменьшается.

Температура воздуха в тропических циклонах изменяется в очень широких пределах. Они имеют очень теплую центральную часть (глаз бури). При этом возле земной поверхности температура в центральной части незначительно отличается от температуры на периферии циклона. На высотах 3...13 км температура в центре циклона значительно выше, чем на периферии. Иногда температура в центре циклона на $5\ldots15^{\circ}\text{C}$ выше, чем на расстоянии 150 км от него.

Облачность тропических циклонов очень мощная. Облака окаймляют центр циклона (глаз бури) так называемой стеной, состоящей из кучево-дождевых облаков, высотой до 15 км и выше. Длина стены облаков достигает 300...400 км и более.

За период прохождения тропического циклона через конкретный пункт (станцию) в среднем выпадает 500 мм **осадков**, в экстремальных случаях — до 2500 мм.

Пространство в центре тропического циклона называется **глазом бури**. Оно характеризуется ясным или почти ясным небом; отсутствием осадков; слабым ветром или штилем; повышенной температурой, особенно на высотах; низкой относительной влажностью.

Наблюдения за тропическими циклонами проводятся с помощью метеорологических спутников Земли, радиолокаторов и специальных самолетов.

Расчеты показывают, что в среднем за сутки тропический циклон выделяет энергию около $5\cdot10^{19}$ Дж (атомная бомба, сброшенная на Хиросиму, имела энергию приблизительно 10^{14} Дж).

Последствия прохождения тропических циклонов, как правило, ужасные. Они связаны с ураганными ветрами; штормовыми нагонами воды; наводнениями, вызываемыми сильными ливнями. Материальные потери, наносимые тропическими циклонами из года в год возрастают и достигают миллиардов долларов.

10.5. ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТОВ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

Территория, расположенная за полярным кругом в Северном полушарии называется Арктикой, а в Южном – Антарктикой. В Арктике располагаются зимние полюса холода над Якутией и Гренландией, минимальные температуры над которыми достигают -70°C (203К).

В глубине Антарктики располагается абсолютный полюс холода планеты с минимальными температурами, близкими к -90°C (183К).

Для большинства территорий за полярным кругом характерны следующие географические и гидрометеорологические условия, которые оказывают существенное влияние на выполнение полетов:

- полярная ночь, которая обуславливает низкие температуры воздуха, и полярный день с незаходящим Солнцем продолжительностью до 3...5 месяцев;
- полярные сияния, магнитные бури и другие геомагнитные факторы, нарушающие радиосвязь;
- редкая метеорологическая и аэрометеорологическая сеть;
- очень малое количество аэродромов, которые расположены на большом удалении друг от друга, что затрудняет выбор запасных для посадки;
- резкое различие условий погоды на каждом аэродроме и в соседних районах из-за влияния местных особенностей;
- отсутствие источников пыли, что обуславливает высокую прозрачность атмосферного воздуха (но хорошая видимость наблюдается редко из-за низкой облачности, туманов, дымка, метелей и других метеорологических и оптических явлений);
- сильные ветры, вызывающие метели и создающие снежные заносы и ледяные торосы, часто исключающие взлет и посадку ВС;
- высокая повторяемость задерживающих слоев (инверсий и изотермий), под которыми образуются дымки, туманы и низкая облачность, ухудшающие видимость;
- однообразная заснеженная или ледяная поверхность, крайне бедная ориентирами.

Все эти явления, как правило, затрудняют пространственную ориентировку экипажей, особенно при полетах на малых и предельно малых высотах.

В Арктике наиболее благоприятные условия погоды для полетов весной – с начала марта до середины мая.

В Антарктике сложные условия погоды для полетов наблюдаются на протяжении всего года.

10.6. ОСОБЕННОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОЛЕТОВ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ, НАД ПУСТЫНЯМИ И БОЛЬШИМИ ВОДНЫМИ ПРОСТРАНСТВАМИ

В горных районах, как правило, наблюдаются более сложные и опасные метеорологические условия, чем над равнинами. Состояние атмосферы в горах обычно значительно отличается от стандартного, что существенно влияет на тягу двигателей, длину разбега и пробега ВС, показания аэронавигационных приборов. Здесь наблюдается сильная динамическая и термическая турбулентность, усиливается грозовая деятельность. Например, среднее годовое число дней с грозой в центральных равнинных районах Украины составляет 30, а в Карпатах достигает 40. При прохождении атмосферных фронтов над горами облачные системы трансформируются. На наветренных склонах гор атмосферные фронты обостряются, зоны осадков увеличиваются, продолжительность осадков, их интенсивность и вероятность обледенения в осадках возрастают. На подветренных склонах гор атмосферные фронты размываются, вследствие феновых процессов осадки ослабевают или прекращаются совсем, а облачность разрушается. У следующих горных хребтов она может восстанавливаться вновь. Кроме трансформации облачных систем, в горных районах возможно появление так называемых роторных облаков и горных волн (см. главу 9). В вихрях с горизонтальной осью наблюдается падение давления, которое приводит к завышению показаний барометрического высотомера до 200 м и более. Следовательно, в районах с сильными ветрами, а тем более с роторными вихрями, истинная высота может оказаться на 200 м меньше, чем показывает высотомер, что небезопасно при преодолении вершин и хребтов.

Над пустынями – районами с очень сухим и жарким климатом в низких широтах – облака, как правило, отсутствуют. Это приводит к большим суточным и годовым амплитудам температуры и способствует возникновению сильных местных ветров. Метеорологические условия полетов зависят от времени года и суток.

В теплый период года преобладает сухая и ясная погода. Днем температура воздуха у поверхности земли может достигать 40...50°C в тени. Подстилающая поверхность и поверхность предметов на земле может нагреваться до 80...90°C. Перегрев приземного воздуха приводит к возникновению нижних миражей, при которых наземные ориентиры кажутся расположенными ниже, чем в реальности (под поверхностью). Эти миражи усложняют ориентировку и затрудняют визуальный заход на посадку.

До полудня, как правило, безветренно, а после полудня ветер усиливается, что иногда приводит к пыльной или песчаной буре.

При неустойчивой стратификации днем возникает термическая и динамическая турбулентность, сопровождающаяся болтанкой. Могут образовываться смерчи и “сухопутные торнадо” с циркуляцией по типу волчка. В вечерние часы температура понижается, постепенно ослабевает ветер, но видимость остается плохой из-за наличия в воздухе большого количества взвешенных частиц пыли и песка.

Ночью температура резко падает, пыль оседает, и воздух становится очень прозрачным. К утру возникает глубокая приземная инверсия, иногда создаются условия для верхнего миража, при котором наземные ориентиры кажутся приподнятыми над землей. Видимость в это время ухудшена за счет дымки или мглы, ветер практически отсутствует.

В холодный период года при преобладающем антициклоническом характере погоды образуется глубокая приземная инверсия, которая создает условия для возникновения сдвига ветра за счет малых скоростей в приземном слое и достаточно больших выше верхней границы инверсии. В ряде случаев на высотах 200...300 м возникает, так называемое, низкотропосферное струйное течение со скоростью 20 м/с и более, протяженностью несколько сотен километров в длину и до 100 км в ширину. В дневное время при разрушении инверсии сдвиг ветра обычно исчезает. Как правило, инверсия вызывает и ухудшение видимости.

При прохождении циклонов погодные условия в пустынях резко усложняются. Движение атмосферных фронтов обычно сопровождается пыльными бурями, а в теплом секторе циклонов образуются адвективно-радиационные туманы, иногда с моросью. Наиболее часто это наблюдается в переходные сезоны года.

Над большими водными пространствами метеорологические условия полетов зависят от аэросиноптической обстановки, от времени года, суток и широты места. Как правило, в циклонических образованиях они сложные, а в антициклонических – проще. Летом в высоких широтах на границе ледяных полей и открытой воды условия характеризуются частыми туманами и низкой облачностью. Наиболее благоприятные погодные условия в это время года наблюдаются в умеренных и низких широтах. Но при этом не исключена возможность встречи с тропическими циклонами. Полеты даже на периферии облачной системы таких циклонов крайне опасны из-за болтанки и частых грозовых разрядов.

В умеренных широтах даже зимой может наблюдаться кучево-дождевая облачность, из которой выпадают осадки в виде снега и снега с дождем, ухудшающие видимость до 1000 м и менее. В облаках наблюдаются сильная болтанка, обледенение и грозы. В отличие от континентальных районов грозы здесь в холодный период бывают чаще, чем в теплый.

Полеты на малых высотах осложняются волнением (особенно при низкой облачности) моря.

На больших высотах вблизи прибрежных областей континентов, где бывают повышенные температурные контрасты, наблюдаются зоны струйных течений с характерной повышенной турбулентностью.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Какие метеорологические величины и явления погоды осложняют условия полетов на малых (больших) высотах?
2. Что называется тропопаузой и как она влияет на условия полетов?
3. От чего зависит высота тропопаузы?
4. В каких районах тропопауза располагается выше: над полюсом или над экватором?
5. На какой высоте, в среднем, находится тропопауза?

6. Какие опасные явления могут наблюдаться при полетах в зоне тропопаузы и при ее пересечении?
7. В каких случаях при пересечении тропопаузы наблюдается сильная болтанка и когда пересекать ее не рекомендуется?
8. Что называется струйным течением?
9. На каких высотах, как правило, располагаются струйные течения?
10. Какое направление струйного течения является преобладающим?
11. Какие скорости струйных течений, как правило, наблюдаются над Украиной?
12. Над какими географическими районами наблюдаются самые сильные струйные течения?
13. Какой воздух (теплый, холодный) и какое давление наблюдаются на левой (правой) стороне струйного течения?
14. Какую опасность для полетов могут представлять струйные течения?
15. Что является критерием сильной болтанки при полетах в зоне струйного течения?
16. В каких частях струйного течения наблюдаются самые благоприятные (неблагоприятные) условия для выполнения полетов?
17. Каким образом положительные отклонения температуры воздуха от температуры в стандартной атмосфере влияют на выполнение полетов в зоне струйного течения?
18. В каких частях струйного течения наблюдаются положительные отклонения температуры воздуха от температуры в стандартной атмосфере?
19. Как рекомендуется обходить встречное струйное течение?
20. Как рекомендуется пересекать струйное течение?
21. Как можно обнаружить струйное течение в полете?
22. Что называется бризом?
23. Что является основной причиной образования бризов?
24. Какие бризы имеют большую скорость: береговые или морские?
25. Что необходимо учитывать при полетах в районах с бризовой циркуляцией?
26. Что является основной причиной образования горно-долинных ветров?
27. Какие скорости наблюдаются при долинных (горных) ветрах?
28. Что такое ледниковые (стоковые) ветры?
29. Что такое бора?
30. Какие скорости наблюдаются при боре?
31. Как называются местные ветры типа боры в различных географических районах?
32. Что называется фёном?
33. Какие скорости наблюдаются при фёнах?
34. Что называется пассатами?
35. Какое направление пассатов у земной поверхности является преобладающим в Северном (Южном) полушарии?
36. Какой скорости достигают пассаты у земной поверхности?
37. Какая облачность образуется при пассатной циркуляции?
38. Что называется муссонами?
39. Что является основной причиной образования тропических (внетропических) муссонов?
40. Какая погода наблюдается при летних (зимних) муссонах?
41. Что называется внутритропической зоной конвергенции (ВЗК)?
42. Какие условия погоды наблюдаются во внутритропической зоне конвергенции (ВЗК)?
43. Что называется тропическим циклоном?
44. Как называются тропические циклоны в различных географических районах?
45. Какие условия необходимы для образования тропических циклонов?
46. Как называются стадии развития тропических циклонов в зависимости от максимальной скорости ветра?
47. Какие горизонтальные размеры имеют тропические циклоны?
48. Какое давление наблюдается в тропических циклонах?
49. Какая скорость ветра наблюдается в тропических циклонах?
50. Как распределяется температура воздуха в тропических циклонов?
51. Какая облачность характерна для тропических циклонов?
52. Сколько осадков выпадает при прохождении тропических циклонов?
53. Что такое "глаз бури"?
54. Какая энергия выделяется при прохождении тропического циклона?
55. Какие метеорологические условия полетов характерны для Арктики и Антарктики?
56. Какие минимальные температуры воздуха наблюдаются в Арктике?
57. Какие минимальные температуры воздуха наблюдаются в Антарктике?
58. В какое время года наблюдаются наиболее благоприятные метеорологические условия полетов над Арктикой (Антарктикой)?
59. Какие метеорологические условия полетов наблюдаются в горных районах по сравнению с равнинной местностью?
60. Что происходит с атмосферными фронтами и их облачными системами на наветренных (подветренных) склонах гор?
61. Какое влияние на выполнение полетов оказывают фёны (роторные облака, горные волны)?

62. От чего зависят метеорологические условия полетов над пустынями?
63. Какие метеорологические условия полетов наблюдаются над пустынями в теплый (холодный) период года в различное время суток?
64. От чего зависят метеорологические условия полетов над большими водными пространствами?
65. Какие опасные метеорологические явления наблюдаются над большими водными пространствами в высоких (низких) широтах летом?
66. Какие опасные метеорологические явления наблюдаются над большими водными пространствами в умеренных широтах зимой?
67. Чем осложняются метеорологические условия полетов над большими водными пространствами на малых (больших) высотах?

ГЛАВА 11. АЭРОСИНОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ДОКУМЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ АЭРОНАВИГАЦИИ

Для принятия решения на вылет необходимо оценить метеорологические условия с точки зрения возможности выполнения полета и обеспечения его безопасности в метеорологическом отношении. Чтобы правильно сделать такую оценку, необходимо проанализировать все имеющиеся данные о состоянии погоды, определить характер и направление развития атмосферных процессов, которые приведут к изменению метеоусловий в период полета. При этом требуется разобраться не только в том, какие условия погоды наблюдаются в районе или по маршруту планируемого полета, но и определить, с чем связаны эти условия и как они могут в дальнейшем изменяться, т.е. представить их будущее состояние. Это можно сделать, проводя аэросиноптический анализ метеорологической обстановки.

Аэросиноптический анализ проводится путем сопоставления и обработки целого комплекса материалов:

- результатов инструментальных измерений и визуальных наблюдений за погодой в приземном слое и на высотах в свободной атмосфере;
- карт фактической погоды (приземных и высотных);
- аэрологических диаграмм;
- карт максимальных ветров;
- карт тропопаузы;
- карт-схем радиолокационных метеорологических наблюдений;
- карт облачности по наблюдениям спутников (карты нефанализа);
- прогнозических карт особых явлений погоды;
- прогнозических карт ветра и температуры воздуха на высотах для стандартных изобарических поверхностей;
- предупреждений по аэрородрому;
- информации SIGMET, AIRMET и другой имеющейся информации.

Путем сопоставления аэросиноптических материалов оценивается развитие атмосферных процессов, определяется эволюция барических систем и атмосферных фронтов, трансформация воздушных масс, характер изменения состояния метеорологических величин и явлений погоды. Определяются направление и скорость перемещения различных синоптических объектов, обуславливающих те или иные условия погоды.

11.1. МЕЖДУНАРОДНЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОД КН-01

В соответствии с международными соглашениями, наблюдения за погодой на метеорологических станциях проводятся в строго установленное время, начиная с 00 часов международного скоординированного времени (universal coordinated time – UTC), через каждые три часа (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 час). Результаты наблюдений кодируются в соответствии с международным метеорологическим кодом КН-01 и передаются по телеграфу в метеорологические центры. В метеорологических центрах на основании информации, содержащейся в телеграммах, составляются карты погоды. Данные о погоде наносятся на карту в виде цифр и условных символов в строго определенном порядке вокруг кружка станции (Приложения 3, 4).

11.2. МЕЖДУНАРОДНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОД METAR (SPECI)

METAR – meteorological aviation routine weather report – сообщение о фактической погоде на аэродроме, регулярная сводка.

SPECI – aviation selected special weather report – сообщение о существенных изменениях погоды, специальная сводка.

СХЕМА КОДА

METAR или SPECI	COR	CCCC	YYGGggZ	NIL
AUTO	dddffGf _m f _m	{ KMН или KT или MPS	d _n d _n d _n Vd _x d _x d _x	
{ VVVV или VVVVNDV	V _N V _N V _N V _N D _V		{ RD _R D _R /V _R V _R V _R V _R i или RD _R D _R /V _R V _R V _R V _R V _R V _R V _R i	
w'w'			{ N _s N _s N _s h _s h _s (CC) или VVh _s h _s h _s или NSC или NCD	
T'T'/T' _d T' _d	Q(A)P _H P _H P _H P _H			
REw'w'	WS RD _R D _R или WS ALL RWY		(WT _s T _s /SS')	
(RD _R D _R /E _R C _R e _R e _R B _R B _R)	TTTTT TTGGgg		(RMK)	
	или			
	NOSIN			

Таблицы для расшифровки кода приводятся в Приложении 5.

0. **METAR** – фактическая погода, регулярная сводка,
или
SPECI – фактическая погода, специальная сводка.
- COR** – кодовое слово **COR** (corrective) используется для исправленных сводок.
Например: **METAR COR** – фактическая погода исправленная регулярная сводка.
1. **CCCC** – международный четырехбуквенный индекс аэродрома, который указывает его географическое местоположение.
2. **YYGGggZ** – дата и срок наблюдения:
 YY – число текущего месяца;
 GGgg – срок наблюдения в часах (GG) и минутах (gg) международного скоординированного времени (UTC);
 Z – буквенный указатель UTC.
 В бюллетене, который содержит несколько сводок **METAR** за один и тот же срок наблюдения, название кода и группа **YYGGggZ** выносятся в заголовок бюллетеня. В каждой отдельной сводке в этом случае группы **METAR** и **YYGGggZ**, как правило, опускаются.
3. **NIL** – кодовое слово **NIL** используется для отсутствующих сводок.
4. **AUTO** (automatic). Эта группа включается в сводку METAR в том случае, когда она содержит результаты полностью автоматизированных наблюдений, проведенных без вмешательства человека.

Согласно требованиям ICAO в такой сводке должна быть информация обо всех, указанных в схеме кода величинах. Если какой-то из параметров не может быть определен автоматизированной системой, группа, в которой он должен быть закодирован, указывается в сводке соответствующим количеством знаков дробной черты. Количество знаков дробной черты зависит от количества символьических букв, которыми эта группа указывается в схеме кода, т.е. четыре – для группы видимость, две – для группы текущей погоды, три или шесть (в зависимости от того, что приемлемо) – для группы облачность.

5.
$$\begin{array}{c} \text{dddffGf}_m f_m \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{KMH} \\ \text{KT} \\ \text{MPS} \end{array} \right. \end{array}$$
 $d_n d_n d_n V d_x d_x d_x$ – ветер у поверхности земли:

ddd – среднее истинное направление ветра в градусах (три цифры). Северный ветер – **ddd = 360**, штиль (calm) – **ddd = 000**, переменный (variable) – **ddd = VRB**.

Если направление ветра менее 100° , то переди значащих цифр добавляется ноль. Например, при $\delta = 70^\circ$ **ddd = 070**. Буквенное сокращение **VRB** применяется для обозначения направления ветра в том случае, когда наблюдается переменное направление ветра при скорости менее 2 м/с (3 узлов или 6 км/ч). После **VRB** всегда указывается скорость ветра (**VRB01MPS**).

При больших скоростях ветра, когда невозможно определить единое направление ветра, например, во время прохождения грозы над аэродромом, буквенно сокращение **VRB** применяется для обозначения переменного ветра в том случае, когда изменение направления ветра составляет 180° и более.

ff – средняя скорость ветра (две цифры).

Штиль – **ff = 00**.

Период осреднения ветра составляет 10 минут в сводках, распространяемых за пределы аэродрома, и 2 минуты – в сводках, которые используются на аэродроме для взлета и посадки ВС.

Gf_m f_m – максимальная скорость ветра (порывы) за 10-минутный период, предшествующий сроку наблюдения.

G (gust – порыв) – буквенный указатель максимальной скорости.

$Gf_m f_m$ передается в тех случаях, когда $f_m f_m$ превысила среднюю скорость на 5 м/с (10 узлов, 20 км/ч) или более.

Если скорость ветра меньше 10 единиц, то впереди значащей цифры добавляется ноль. Например, скорость ветра 5 м/с будет указана 05.

Скорость ветра 100...199 км/ч указываются тремя цифрами.

Например:

24080G120KMH – направление ветра 240°, средняя скорость, 80 км/ч максимальная скорость (порывы) 120 км/ч.

Скорость ветра **50 м/с и более** указывается **P49MPS**.

Скорость ветра **100 узлов и более** указывается **P99KT**.

Скорость ветра **200 км/ч и более** указывается **P199KMH**.

P (peak) – более (высшая точка, максимум).

KMH	(kilometres per hour)	км/ч	единицы измерения скорости ветра
KT	(knots)	узлы	
MPS	(metres per second)	м/с	

Соответствующая размерность (**KMH**, **KT**, **MPS**) передается после $f_m f_m$ или **ff**, если $f_m f_m$ не включена в сводку, обязательно, в том числе и при штиле.

Например:

00000KT, VRB05KMH, 12015G22MPS.

Используемая единица измерения скорости ветра определяется на национальном уровне. Основная единица для скорости ветра по стандартам и рекомендуемой практике ICAO – **KMH**.

$d_n d_n d_n V d_x d_x d_x$ – изменение в направлении ветра:

$d_n d_n d_n \left. \right\}$ – два экстремальных значения (границы сектора), между которыми происходило изменение направления в течение 10-минутного периода, предшествующего сроку наблюдения;

V (variability – изменчивость) – индикатор существенных изменений.

Эта группа указывается в сводке **METAR** в тех случаях, когда в течение 10-минутного периода, предшествующего сроку наблюдения, общее изменение в направлении ветра составило 60° и более, но менее 180°, а средняя скорость 2 м/с (3 узла, 6 км/ч) и более. Границы сектора, в пределах которого изменялось направление ветра, указываются по ходу часовой стрелки.

6. $\begin{cases} \text{VVVV} \\ \text{или} \\ \text{VVVVNDV} \end{cases} V_N V_N V_N V_N D_v$ – горизонтальная видимость у поверхности земли

VVVV (четыре цифры) **преобладающая** видимость в метрах.

Если видимость менее 1000 м, то впереди значащих цифр добавляются нули. Например, видимость 50 м будет указана – **0050**. Видимость 10 км и более – **9999**.

В сводках METAR (SPECI) видимость указывается:

- при видимости менее 800 м – значениями кратными 50 м;
- при видимости более 800 м, но меньше 5000 м – значениями кратными 100 м;
- при видимости более 5000 м, но менее 10 км – значениями кратными 1000 м.

Если горизонтальная видимость неодинакова для различных направлений и преобладающая видимость не может быть определена, вместо преобладающей видимости указывается **минимальная видимость** $V_N V_N V_N V_N$ и направление D_v , в котором эта видимость наблюдается. D_v кодируется одно- или двухбуквенными указателями восьми румбов компаса (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW). Если значение минимальной видимости соответствует нескольким направлениям, D_v должен содержать наиболее эксплуатационно-важное направление.

Примечание:

основные румбы – N (north) – север, S (south) – юг,

W (west) – запад, E (east) – восток.

При автоматизированных наблюдениях, когда видимость определяется только в одном направлении (в котором установлены датчики видимости), после значения видимости

добавляется сокращение **NDV** – non directional variations – видимость в одном направлении (без вариантов направления).

Например: 1200 NDV – видимость 1200 м в направлении датчиков.

Если минимальная видимость менее 1500м или меньше 50% от преобладающей видимости и менее 5000 м, в сводку METAR (SPECI) включаются 2 видимости: **преобладающая и минимальная** с указанием направления, в котором она наблюдается **VVVV V_NV_NV_NV_ND_V**.

Например:

1600 1200NE – преобладающая видимость 1600 м, минимальная видимость 1200 м в северо-восточном направлении.

7. $\left. \begin{array}{l} \mathbf{R}\mathbf{D}_{\mathbf{R}}\mathbf{D}_{\mathbf{R}}/\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{i} \\ \text{или} \\ \mathbf{R}\mathbf{D}_{\mathbf{R}}\mathbf{D}_{\mathbf{R}}/\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{V}_{\mathbf{R}}\mathbf{i} \end{array} \right\} - \mathbf{RVR}$
(runway visual range)

Группа **RDRD_R/VRVRVRVRi** включается в сводку METAR для каждой ВПП, предназначенной для посадки, если горизонтальная видимость у земли или **RVR** менее 1500 м; в противном случае эта группа опускается. В сводке может быть одна или несколько таких групп.

R – буквенный указатель группы.

D_RD_R – номер ВПП (01...36) – посадочный курс в десятках градусов.

Параллельные ВПП различаются путем добавления после номера ВПП букв **L** (left) – левая, **C** (central) – центральная, **R** (right) – правая. Соответствующие сочетания этих букв могут быть использованы для указания вплоть до пяти параллельных ВПП (**LL, L, C, R, RR**).

V_RV_RV_RV_R – средняя величина дальности видимости на ВПП за 10-минутный период, предшествующий сроку наблюдения, в метрах.

i – тенденция изменения дальности видимости на ВПП в течение 10-минутного периода, предшествующего сроку наблюдения, указывается буквами **U, D, N**:

U (upward) – **улучшается:** средняя величина **RVR** за первые пять минут меньше средней величины **RVR** за вторые пять минут на 100 м и более.

D (downward) – **ухудшается:** средняя величина **RVR** за первые пять минут больше средней величины **RVR** за вторые пять минут на 100 м и более.

N (no change) – **не меняется:** видимость **RVR** в течение 10-минутного периода, предшествующего сроку наблюдения, меняется незначительно.

Например:

R18/0900U – на ВПП 18 видимость 900 м, улучшается.

R23R/1200N – на ВПП 23, правой, видимость 1200 м, не изменяется.

R05L/0750D – на ВПП 05, левой, видимость 750 м, ухудшается.

В тех случаях, когда нельзя определить тенденцию изменения дальности видимости на ВПП, она не указывается.

Если за 10-минутный период, предшествующий сроку наблюдения, хотя бы одно из одноминутных средних значений **RVR** отличается от среднего значения **RVR** за 10-минутный период более, чем на 50 м или на 20% (в зависимости от того, что больше), группа видимости на ВПП имеет вид:

RDRD_R/VRVRVRVRVV_RV_RV_Ri.

Значения **V_RV_RV_RV_R** до и после индикатора существенных изменений **V** (indicator of significant variation) представляют, соответственно, минимальную и максимальную одноминутную среднюю величину дальности видимости на ВПП.

Например:

R29L/0200V0400D – на ВПП 29, левой, минимальное одноминутное значение видимости 200 м, максимальное – 400 м, видимость ухудшается.

R34R/1000V1400U – на ВПП 34, правой, минимальное одноминутное значение видимости 1000 м, максимальное – 1400 м, видимость улучшается.

Если фактическое значение видимости на ВПП выходит за пределы диапазона измерений используемой наблюдательной системы, видимость на ВПП в сводке **METAR** будет указана следующим образом:

- a) **RD_RD_R/PV_RV_RV_RV_R** – видимость на ВПП *более* V_RV_RV_RV_R ;
 б) **RD_RD_R/MV_RV_RV_RV_R** – видимость на ВПП *менее* V_RV_RV_RV_R

P (peak) – высшая точка, максимум;
M (minimum) – минимум.

Например:

- R18/P1500N** – на ВПП 18 видимость более 1500 м, не изменяется.
R07R/M0150D – на ВПП 07, правой, видимость менее 150 м, ухудшается.

Если видимость на ВПП оценивается величиной более 2000 м, ее следует передавать как **P2000**.

8. w'w' – особые явления текущей погоды.

Явления погоды кодируются двухбуквенными сокращениями (Приложение 5: табл. 1). Эта группа может содержать от 2 до 7-ти знаков.

Содержание группы w'w':

- интенсивность или близость явления (Приложение 5: табл. 1, колонка 1);
- дескриптор – характеристика явлений погоды (Приложение 5: табл. 1, колонка 2);
- явления погоды (Приложение 5: табл. 1, колонки 3, 4, 5).

Интенсивность явлений указывается соответствующим знаком (–, +), который ставится перед буквенным сокращением явления: – слабый (light), + сильный (heavy), умеренный (moderate) – знак не указывается.

VC (in the vicinity) – вблизи аэродрома – явление наблюдается на расстоянии от 8 до 16 км от контрольной точки аэродрома, но не на самом аэродроме.

Дескрипторы **MI** (shallow) – тонкий, **BC** (patches) – обрывки, **KEY**, **PR** (partial) – частичный (покрывающий часть аэродрома), применяются только в сочетании с туманом (fog) – **FG**:

MIFG – видимость на уровне 2 м над землей составляет 1000 м и более, а в слое тумана – менее 1000 м;

BCFG – используется для сообщения о зарядах тумана. В заряде тумана видимость менее 1000 м, а в других частях аэродрома видимость 1000 м и более.

PRFG – используется для сообщения о тумане, покрывающем часть аэродрома. В полосе тумана видимость менее 1000 м, а в других частях аэродрома видимость 1000 м и более.

Дескриптор **DR** (low drifting) – поземок (**DRSN** – снежный поземок, **DRSA** – песчаный поземок, **DRDU** – пыльный поземок).

Дескриптор **BL** (blowing) – низовая метель (**BLSN** – снежная низовая метель, **BLSA** – песчаная низовая метель, **BLDU** – пыльная низовая метель).

Дескриптор **SH** (shower) указывает на выпадение осадков ливневого типа: **SHRA** – ливневый дождь, **SHSN** – ливневый снег, **SHPL** – ливневый ледяной дождь. При совместном использовании с указателем **VC** тип и интенсивность ливневых осадков не указывается (**VCSH** – вблизи аэродрома ливневые осадки).

Дескриптор **TS** (thunderstorm) обозначает грозу над аэродромом без осадков. Если гроза сопровождается осадками, то сразу же за **TS** без интервала будут указаны буквенные сокращения наблюдающихся осадков (**TSRAGR** – гроза с ливневым дождем и градом). Сокращение **TS** используется, если на аэродроме слышен гром или видна молния в течение 10 минут перед сроком наблюдения.

Дескриптор **FZ** (supercooled, freezing) – замерзающий, (переохлажденный), используется для указания замерзающего (переохлажденного) тумана (**FZFG**) или замерзающих (переохлажденных) осадков (**FZRA** – замерзающий или переохлажденный дождь, **FZDZ** – замерзающая или переохлажденная морось).

Если наблюдается несколько различных явлений погоды, то каждое явление будет указано отдельной группой. Таких групп в сводке может быть несколько, но не более трех.

Осадки в более чем одной форме объединяются, как правило, в одной группе. При этом первыми указываются осадки преобладающего типа.

Например:

+ **RASN** – сильный дождь со снегом;

SNRA – снег с дождем.

Сокращение **UP** (unknown precipitation) – неизвестные осадки, используется в сводках “**AUTO**”, когда автоматическая станция определила наличие осадков, но не идентифицировала их тип.

9. $N_s N_s N_s h_s h_s (CC)$ – количество и высота нижней
или $VV h_s h_s h_s$ – границы облачности (НГО)
NSC или NCD – или вертикальная видимость.

Группа облачности повторяется для сообщения о каждом наблюдающемся слое (массиве) облаков. Таких групп может быть три, а при наличии значительных конвективных облаков – четыре.

N_sN_sN_s – количество облаков в слое. Кодируется трехбуквенными сокращениями (Приложение 5: табл. 2);

FEW (few) – незначительная облачность (1...2 октанта);

SCT (scattered) – отдельная или рассеянная облачность (3...4 октанта);

BKN (broken) – значительная или разорванная облачность (5...7 октантов);

OVC (overcast) – сплошная облачность (8 октантов).

Выбор облачных слоев для сообщения в сводке следует проводить в соответствии со следующими критериями:

нижний слой – FEW, SCT, BKN или OVC

средний слой – SCT, BKN или OVC

верхний слой – BKN или OVC

h_sh_sh_s – высота НГО (Приложение 5: табл. 3).

Высота НГО (м) = $h_s h_s h_s \cdot 30$; высота НГО (футы) = $h_s h_s h_s \cdot 100$.

На горных аэродромах, если основание облачного слоя находится ниже уровня аэродрома, **h_sh_sh_s** кодируется ///.

Например:

OVC/// – сплошная облачность, НГО ниже уровня аэродрома.

CC – форма облаков.

Указываются только мощно-кучевые – **TCU** (towering cumulus) и кучево-дождевые – **CB** (cumulonimbus) облака. Буквенные сокращения этих облаков указываются после высоты нижней границы облаков.

Например:

BKN030TCU – облачность значительная, 5...7 октантов, НГО = 900 м, облака мощно-кучевые.

При автоматизированных наблюдениях в группах облачности могут присутствовать дроби (///).

Например:

SCT003/// – (нет возможности идентифицировать форму облаков) – облачность отдельная, 3...4 октанта, НГО = 90 м, форма облаков не определена.

///012/// – количество и форма облаков не определены, НГО = 360 м.

Высота нижней границы облачного слоя указывается с интервалом в 30 м (100 футов) до высоты 3000 м (10000 футов).

Если облачность определить невозможно, например, небо не видно из-за тумана, сильных осадков, метели или других явлений, вместо группы **N_sN_sN_sh_sh_s** передается группа

VVh_sh_sh_s.

VVh_sh_sh_s – вертикальная видимость:

VV – буквенный указатель группы (vertical visibility – вертикальная видимость);

h_sh_sh_s – значение вертикальной видимости (Приложение 5: табл. 3).

Вертикальная видимость указывается только до высоты 600 м в величинах кратных 30 м. Если информации о вертикальной видимости нет, эта группа имеет вид **VV///**.

NSC – (no significant cloud) – не наблюдаются мощно-кучевые, кучево-дождевые облака и облака с НГО 1500 м и ниже.
NCD – (no cloud detected) – (наличие облачности не определено) является эквивалентом **NSC** при полностью автоматизированных наблюдениях (сводки с индикатором “AUTO”). **NCD** обозначает буквально следующее – над датчиком высоты нижней границы облаков (облакометром) нет облаков с НГО ниже 1500 м (5000 ft).

10. CAVOK (cloud and visibility o’key) – индикатор благоприятной погоды.

Включается в сводку METAR вместо групп видимость, явления погоды и облачность в тех случаях, когда наблюдаются следующие условия:

- видимость 10 км и более;
- отсутствует значимая для полетов облачность (нет облаков с НГО 1500 м (5000 футов) и ниже, отсутствуют TCU и CB);
- нет особых явлений погоды (Приложение 5: табл. 1).

Примечание: Облако, значимое для полетов – это облако с нижней границей 1500 м (5000 футов) или ниже наибольшей минимальной абсолютной высоты в секторе в зависимости от того, что больше, а также Cb или TCU на любой высоте.

11. T'T'/T_dT'_d – температура воздуха (T'T') и точка росы (T'_dT'_d) в целых градусах Цельсия.

Отрицательное значение температуры и/или точки росы указывается буквой “M”. Температура воздуха и точка росы передаются двумя цифрами. Значениям температуры воздуха и/или точки росы в диапазоне -9°C...+9°C в сводке METAR будет предшествовать ноль.

Например:

M00/M03 – $t = -0^\circ\text{C}$, $t_d = -3^\circ\text{C}$
M08/M12 – $t = -8^\circ\text{C}$, $t_d = -12^\circ\text{C}$
15/10 – $t = 15^\circ\text{C}$, $t_d = 10^\circ\text{C}$

12. Q(A)P_nP_nP_nP_n – давление **QNH** – давление аэродрома, приведенное к среднему уровню моря по условиям стандартной атмосферы.
QP_nP_nP_nP_n – давление **QNH** в целых гектопаскалях (гПа) – (четыре цифры).

Если значение **QNH** меньше 1000 гПа, оно также передается четырьмя цифрами, при этом первая цифра будет ноль. Например, давление 985,8 гПа передается как **Q0985**.

AP_nP_nP_nP_n – давление **QNH** в дюймах ртутного столба с точностью до сотых долей дюйма.

Давление в дюймах изменяется в пределах 28...32.

Например:

A2991 – $\text{QNH} = 29,91 \text{ дюйма рт.ст.};$

A3027 – $\text{QNH} = 30,27 \text{ дюйма рт.ст.}$

Если **QNH** передается в гПа, то первой цифрой после буквенного указателя **Q** будет 0 или 1; если же **QNH** передается в дюймах, то первой цифрой после буквенного указателя **A** будет 2 или 3.

Примечание: 1 дюйм рт.ст. = 25,4 мм рт.ст.
1 дюйм рт.ст. = 33,864 гПа

13. Дополнительная информация:

WS RD_RD_R(L,C,R)

REw'w' или **(WT_ST_S/SS')**

WS ALL RWY

(RD_RD_R/E_RC_Re_RB_RB_R)

В этой группе сообщается следующая информация:

REw'w' – явления погоды за последний час перед сроком наблюдения, имеющие оперативное значение.

RE – (recent – недавняя, последняя) – буквенный указатель, означающий, что далее сообщается о явлениях погоды, которые наблюдались за последний час перед сроком наблюдения;

w'w' – явления погоды за последний час перед сроком наблюдения – кодируются в соответствии с табл. 1. Приложения 5.

WS RD_RD_R } сдвиг ветра в приземном слое вдоль траектории взлета или захода на посадку между
или } уровням ВПП и высотой 500 м (1600 футов).
WS ALL RWY

Информация о наличии сдвига ветра в приземном слое сообщается группой **WS RD_RD_R**. Если сдвиг ветра вдоль траектории взлета или захода на посадку наблюдается на всех ВПП, используется группа **WS ALL RWY**.

Буквенные сокращения в этих группах означают:

WS (wind shear) – сдвиг ветра;
R (runway) – взлетно-посадочная полоса;
D_RD_R – номер взлетно-посадочной;
ALL – все (все имеющиеся ВПП).

(WT_sT_s/SS') – температура поверхности моря и состояние моря.

Данные о температуре поверхности моря и состоянии моря включаются в сводку по региональному соглашению.

W (water – вода) – отличительная буква группы.

T_sT_s – температура поверхности моря в целых градусах Цельсия.

S (sea – море) – отличительная буква состояния поверхности моря.

S' – характеристика состояния поверхности моря

(Приложение 5: табл. 4).

Например:

W18/S3 – температура поверхности моря 18°C, состояние моря – слабое волнение.

RD_RD_R/E_RC_Re_Re_RB_RB_R – состояние взлетно-посадочной полосы (Приложение 5: табл. 5).

Данные о состоянии ВПП включаются в сводку по региональному соглашению.

Буквенные сокращения в этих группах означают:

R – взлетно-посадочная полоса (ВПП – runway)
D_RD_R – номер ВПП.
E_R – условия покрытия ВПП.
C_R – степень загрязнения ВПП.
e_Re_R – толщина покрытия ВПП.
B_RB_R – или коэффициент сцепления или эффективность торможения.

В случае параллельных ВПП после номера ВПП добавляются буквы L – левая, С – центральная, R – правая. Группа состояния взлетно-посадочной полосы должна заменяться сокращением **RSNOCL0** (snow close) в том случае, когда аэропорт закрыт из-за экстремальных снежных осадков.

Примеры:

- R07592593** – на ВПП № 7 мокрый снег, степень загрязнения ВПП 51...100%, толщина покрытия 25 мм, эффективность торможения средняя;
- R18751023** – на ВПП № 18 лед, степень загрязнения ВПП 26...50%, толщина покрытия 10 мм, коэффициент сцепления 0,23;
- R22R350345** – на ВПП № 22, правой, иной или изморозь, степень загрязнения ВПП 26...50%, толщина покрытия 3 мм, коэффициент сцепления 0,45;
- R2399///** – на ВПП № 23 замерзшая неровная поверхность, степень загрязнения ВПП 51...100%, толщина покрытия не измерена, ВПП не работает;
- R18RCLRD70** – на ВПП № 18, правой, чисто, коэффициент сцепления 0,70;
- R99550593** – повторяется предыдущее сообщение – на ВПП мокрый снег степень загрязнения ВПП 26...50%, толщина покрытия 5 мм, эффективность торможения средняя.
- R88491094** – на всех ВПП сухой снег, степень загрязнения ВПП 51...100%, толщина покрытия 10 мм, эффективность торможения между средней и хорошей.

14. **TTTTT TTGGgg** – прогноз изменения погоды (trend forecast – **прогноз на посадку**).

Прогноз на посадку составляется на 2 часа, начиная со времени, за которое составлена сводка, и включается в сводку **METAR**, если в течение этих 2-х часов ожидается изменение ветра, видимости, явлений погоды, облачности или вертикальной видимости, при которых будут достигнуты или превыщены установленные для данного аэродрома пороговые критерии.

TTTTT – буквенный индикатор, обозначающий характер ожидаемых изменений метеоусловий:

BECMG (becoming – становится) – ожидаются устойчивые изменения метеоусловий;

TEMPO (temporary – временами) – ожидаются временные изменения метеоусловий;

NOSIG (no significant change – нет существенных изменений) – на ближайшие 2 часа (от ... до ...) – существенные изменения метеоусловий не ожидаются.

TTGGgg – время или период времени, в течение которого ожидаются изменения метеоусловий.

TT – буквенный указатель времени:

FM (from – от) – используется для указания начала периода, в течение которого ожидаются изменения метеоусловий;

TL (till – до) – используется для указания окончания периода, в течение которого ожидается изменение метеоусловий;

AT (at – на) – используется для указания конкретного времени, на которое ожидаются прогнозируемые метеоусловия.

GGgg – время в часах (**GG**) и минутах (**gg**) UTC.

Примечание:

полночь по UTC будет указана для **TL** – 2400,
для **FM** и **AT** – 0000.

Указатели времени **FM** и **TL** применяются с индикаторами **BECMG** и **TEMPO**, а **AT** – только с индикатором **BECMG**.

Промежуток времени, в течение которого ожидаются изменения метеоусловий в рамках периода действия *прогноза на посадку* (прогноза TREND), может быть указан следующим образом:

a) **METAR CCCC 241200Z BECMG (TEMPO) FM1230 TL1330 ...**

Прогноз на посадку: в период от 12.30 до 13.30 UTC ожидаются устойчивые (временные) изменения метеоусловий

b) **METAR CCCC 241200Z BECMG (TEMPO) FM1230 ...**

Прогноз на посадку: в период от 12.30 до 14.00 UTC ожидаются устойчивые (временные) изменения метеоусловий

v) **METAR CCCC 241200Z BECMG (TEMPO) TL1330 ...**

Прогноз на посадку: в период от 12.00 до 13.30 UTC ожидаются устойчивые (временные) изменения метеоусловий

g) **METAR CCCC 241200Z BECMG (TEMPO) ...**

Прогноз на посадку: в период от 12.00 до 14.00 UTC ожидаются устойчивые (временные) изменения метеоусловий

d) **METAR CCCC 241200Z NOSIG**

Прогноз на посадку: в период от 12.00 до 14.00 UTC существенные изменения метеоусловий не ожидаются.

В прогноз TREND вслед за группами **TTTTT (TTGGgg)** включаются только те параметры, по которым прогнозируются изменения. Последовательность метеорологических величин и правила кодирования такие же, как в схеме кода **METAR**.

Если ожидается окончание особых явлений погоды, указанных в сводке **METAR**, в прогнозе TREND на месте группы **w'w'** указывается буквенное сокращение **NSW** (no significant weather – нет особых явлений погоды) – особые явления погоды прекратятся или особые явления погоды не прогнозируются.

Если после значительной облачности ожидается резкое прояснение, а также в случае, когда не прогнозируются кучево-дождевые облака и облака с НГО 1500 м и ниже, а индикатор **CAVOK** не применим, используется буквенное сокращение **NSC**.

15. RMK (remark) – указатель раздела, содержащего информацию, включенную согласно национальному решению. В аэропорты других государств эта информация не передается.

ПРИМЕР РАСКОДИРОВАНИЯ СВОДКИ METAR:

METAR (SPECI) UKKG 101500Z 15006G12MPS 120V190
1600 0900NW R16/1600D [R16/1400V1900D] BCFG 0VC002
(VV002) M00/M01 Q0989 (A2936) RERA WS R16 (WS ALL RWY)
R16/690530 [NOSIG] BECMG (TEMPO) FM1530 0400 FG VV001

Фактическая погода, регулярная сводка (фактическая погода, специальная сводка) аэродрома Кировоград 10 числа текущего месяца за 15.00 UTC. Ветер 150° 6 м/с, порывы до 12 м/с. Направление ветра менялось в секторе 120°...190°. Преобладающая горизонтальная видимость 1600 м, минимальная горизонтальная видимость 900 м в северо-западном направлении. На ВПП № 16 видимость 1600 м, ухудшается [на ВПП № 16 видимость меняется от 1400 м до 1900 м, ухудшается]. Туман клочьями. Облачность сплошная, 8 октантов, нижняя граница облаков 60 м (вертикальная видимость 60 м), температура -0°C, точка росы -1°C. QNH = 989 гПа (QNH = 29,36 дюйма ртутного столба).

Погода за последний час – дождь. Сдвиг ветра в приземном слое на ВПП № 16 (Сдвиг ветра в приземном слое на всех ВПП). На ВПП № 16 снежно-ледяная каша, степень загрязнения ВПП 51%...100%, толщина покрытия 5 мм, коэффициент сцепления 0,30.

[**Прогноз на посадку**: в период от 15.00 UTC до 17.00 UTC существенные изменения в погоде не ожидаются].

[**Прогноз на посадку**: в период от 15.30 UTC до 17.00 UTC ожидаются устойчивые (временные) изменения погоды: видимость 400 м, туман. Вертикальная видимость 30 м.]

Примеры телеграмм в формате кода METAR (SPECI) приводятся в Приложении 6.

11.3. МЕЖДУНАРОДНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ КОД TAF

TAF – terminal aerodrome forecast – прогноз погоды по аэродрому.

СХЕМА КОДА

$\left. \begin{array}{l} \text{TAF или} \\ \text{TAF COR или} \\ \text{TAF AMD} \end{array} \right\}$	CCCC	YYGGggZ	NIL
$Y_1 Y_1 G_1 G_1 / Y_2 Y_2 G_2 G_2$	CNL	$\left. \begin{array}{l} \text{dddffGf}_m f_m \\ \text{KT или} \\ \text{MPS} \end{array} \right\}$	
VVVV	$w'w'$ или NSW	$N_s N_s N_s h_s h_s (CC)$ $VV h_s h_s$ или NSC	
CAVOK	$(6I_c h_i h_i t_L)$	$(5B h_B h_B t_L)$	
PROBC ₂ C ₂	YYGG/Y _e Y _e G _e G _e	TTTTT YYGG/Y _e Y _e G _e G _e	$\left. \begin{array}{l} \text{или} \\ \text{TTYYGGgg} \end{array} \right\}$

TXT_FT_F/Y_FY_FG_FG_FZ TNT_FT_F/Y_FY_FG_FG_FZ

Таблицы для расшифровки кода приводятся в Приложении 5.

0. TAF или TAF AMD или TAF COR

TAF – прогноз погоды по аэродрому.

TAF AMD – измененный прогноз.

(AMD – amendment – изменение, поправка).

TAF COR – исправленный прогноз.

(COR – corrective – исправление).

Название кода **TAF** указывается в начале каждого прогноза погоды по аэродрому или выносится в первую строку текста бюллетеня, в котором объединено несколько прогнозов.

TAF AMD – измененный прогноз по аэродрому и **TAF COR** – исправленный прогноз по аэродрому распространяются на весь оставшийся период действия первоначального прогноза TAF.

1. **CCCC** – международный четырехбуквенный индекс аэродрома, который указывает его географическое местоположение.

2. **YYGGggZ** – дата и время составления прогноза погоды:

YY – число текущего месяца;

GGgg – время составления прогноза погоды в часах (**GG**) и минутах (**gg**) UTC;

Z – буквенный указатель UTC.

3. **NIL** – кодовое слово **NIL** используется для отсутствующих прогнозов. (**NIL** – nil – ничего, ноль).

4. **Y₁Y₁G₁G₁/Y₂Y₂G₂G₂** – даты (**Y₁Y₁**, **Y₂Y₂**) и срок действия прогноза: **G₁G₁** (начало), **G₂G₂** (конец) – в целых часах UTC.

Период действия прогноза, как правило, **не менее 6 и не более 30 часов**.

5. **CNL** – кодовое слово **CNL** используется для отмененных прогнозов (CNL – cancellation – аннулирование, отмена).

Отменяются прогнозы **TAF**, которые не могут постоянно обновляться и изменяться вследствие отсутствия данных о фактической погоде на аэродроме.

6. $\text{dddffGf}_m \text{f}_m \left\{ \begin{array}{l} \text{КМН} \\ \text{КТ} \\ \text{МРС} \end{array} \right\}$ – прогноз ветра у поверхности земли:

ddd – среднее направление прогнозируемого ветра.

Северный ветер – **ddd = 360**, штиль (calm) – **ddd = 000**, переменный (variable) – **ddd = VRB**.

ff – средняя скорость прогнозируемого ветра.

Штиль – **ff = 00**.

Gf_mf_m – прогнозируемая максимальная скорость ветра (порывы).

7. **VVVV** – прогнозируемая преобладающая горизонтальная видимость в метрах.

Видимость 10 км и более – **VVVV = 9999**.

8. **w'w'** – прогнозируемые особые явления погоды (Приложение 5; табл. 1).

Если ожидается окончание особых явлений погоды, то используется буквенное сокращение **NSW** (no significant weather).

N_sN_sN_sh_sh_sh_s(CC) или **Vvh_sh_sh_s** или **NSC** } прогнозируемые количество и высота НГО или вертикальная видимость

N_sN_sN_s – количество облаков в слое, кодируется трехбуквенными сокращениями **FEW**, **SCT**, **BKN**, **OVC** (Приложение 5: табл. 2);

h_sh_sh_s – высота НГО прогнозируемого облачного слоя (Приложение 5: табл. 3);

CC – форма облаков. В прогнозах **TAF** указываются только кучево-дождевые облака – **CB**.

VVh_sh_sh_s – прогноз вертикальной видимости:

- VV** – буквенный указатель группы (vertical visibility – вертикальная видимость);
h_sh_sh_s – значение вертикальной видимости (Приложение 5: табл. 3).
NSC – (no significant cloud) – не прогнозируются кучево-дождевые облака и облака с НГО 1500 м и ниже.

Информация об облачности в прогнозах **TAF** должна ограничиваться данными, имеющими значение для выполнения полетов, то есть данными об облаках с НГО 1500 м или ниже наибольшей абсолютной минимальной высоты в секторе, в зависимости от того, что больше, а также данными о кучево-дождевых облаках, если они прогнозируются.

10. CAVOK – индикатор благоприятной погоды.

Включается в прогноз **TAF** вместо групп видимость, явления погоды и облачность в тех случаях, когда в период действия прогноза ожидаются условия, указанные в группе “CAVOK” кода **METAR**.

11. (6I_ch_ih_it_L) – прогноз обледенения воздушных судов (включается в прогноз в соответствии с региональным соглашением):

- 6** – отличительная цифра;
I_c – характер прогнозируемого обледенения (Приложение 5: табл. 6);
h_ih_i – высота нижней границы слоя, в котором прогнозируется обледенение – нижний уровень обледенения (Приложение 5: табл. 7);
t_L – толщина слоя обледенения (Приложение 5: табл. 6).

Если прогнозируется несколько видов обледенения, в сводку **TAF** будет включено соответствующее число групп **(6I_ch_ih_it_L)**. Эта группа будет также повторяться, если толщина слоя, в котором ожидается обледенение одного и того же вида, превышает 2700 м; при этом высота верхнего уровня обледенения в первой группе будет соответствовать высоте нижнего уровня обледенения во второй группе.

Например:

680209, 681104, 651500 – сильное обледенение в облаках, нижняя граница первого слоя обледенения 600 м, толщина 2700 м; нижняя граница второго слоя этого же вида обледенения 3300 м, толщина – 1200 м. Умеренное обледенение в облаках, нижний уровень 4500 м, толщина слоя – до верхней границы облаков (в облаках в слое 600 м...4500 м – сильное обледенение, от 4500 м до верхней границы облаков – умеренное обледенение).

12. (5Bh_Bh_Bh_Bt_L) – прогноз турбулентности (включается в сводку в соответствии с региональным соглашением):

- 5** – отличительная цифра;
B – характер прогнозируемой турбулентности (Приложение 5: табл. 6);
h_Bh_Bh_B – высота нижней границы слоя, в котором прогнозируется турбулентность – нижний уровень турбулентности (Приложение 5: табл. 7);
t_L – толщина слоя турбулентности (Приложение 5: табл. 6).

Например:

560002 – сильная вне облаков, редкая, турбулентность (болтанка) от земли, толщина слоя – 600 м.

13. PROBC₂C₂ YYGG/Y_eY_eG_eG_e – вероятность изменения величин или явлений погоды.

Эта группа используется для сообщения вероятности возникновения в течение установленного периода времени условий погоды, альтернативных указанным в прогнозе или существенно отличающихся от них.

PROB (probability – вероятность) – буквенный указатель группы. **C₂C₂** – величина вероятности в процентах (30% или 40%).

При вероятности менее 30% о возможности возникновения условий, отличающихся от прогнозируемых, в сводке не сообщается. Если же вероятность альтернативных условий составляет 50% и более, то это указывается с помощью групп изменения **BECMG** или **FMGGgg**.

YYGG/Y_eY_eG_eG_e – даты (YY, Y_eY_e) и период времени, в течение которого ожидаются условия, о вероятности которых сообщается (GG – начало, G_eG_e – конец периода, в целых часах UTC).

Группы **PROBC₂C₂**, **YYGG/Y_eY_eG_eG_e** указываются перед явлениями или условиями погоды, о вероятности возникновения которых сообщается.

Например:

PROB40 2415/2418 2000 +RA – от 15.00 до 18.00 UTC 24 числа с вероятностью 40% ожидается сильный дождь с преобладающей видимостью 2000 м.

Если сообщается вероятность возникновения временных изменений, то группа **PROBC₂C₂** указывается перед буквенным индикатором **TEMPO**, а группа **YYGG/Y_eY_eG_eG_e** – после этого индикатора.

Например:

PROB30 TEMPO 1810/1814 18010G18MPS 2000 SN BLSN – Временами, с 10.00 до 14.00 UTC 18 числа текущего месяца, с вероятностью 30%, ожидается ветер 180° 10 м/с, порывы до 18 м/с. Преобладающая видимость 2000 м, снег, снежная низовая метель.

В сочетании с буквенным индикатором **BECMG** группа **PROBC₂C₂** не используется.

14. **TTTTT YYGG/Y_eY_eG_eG_e** } группы изменения
или **TTYYGGgg** } – прогнозируемых
– метеоусловий

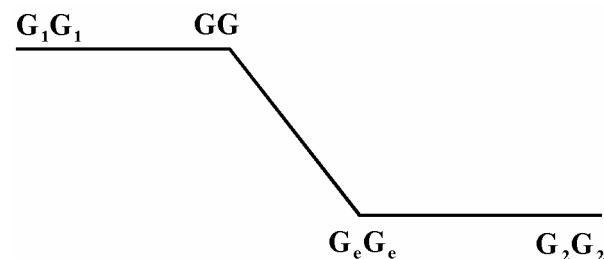
Эти группы включаются в сводку **TAF**, если в течение периода, на который составлен прогноз (от G₁G₁ до G₂G₂), ожидается существенное изменение одного или нескольких прогнозируемых элементов погоды.

Группа изменения **TTTTT YYGG/Y_eY_eG_eG_e** имеет два вида:

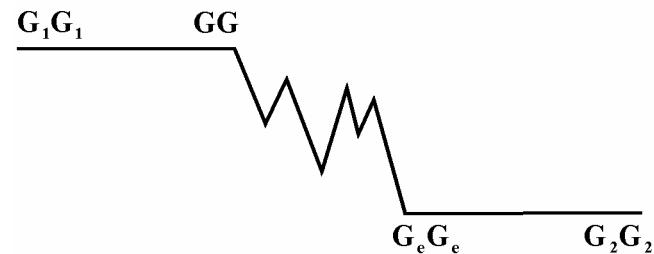
1. **BECMG YYGG/Y_eY_eG_eG_e** – даты (YY, Y_eY_e) и период времени, в течение которого ожидаются устойчивые изменения одной или нескольких прогнозируемых метеорологических величин (GG – начало, G_eG_e – окончание периода, в целых часах UTC).

Такие изменения могут происходить:

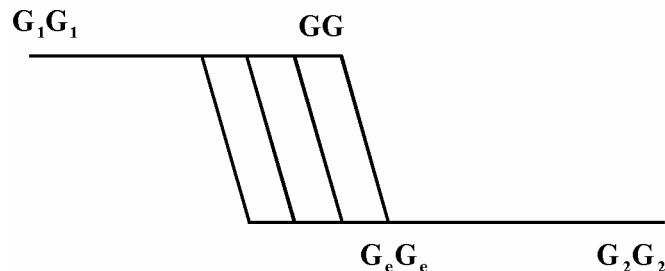
а) равномерно в течение всего периода



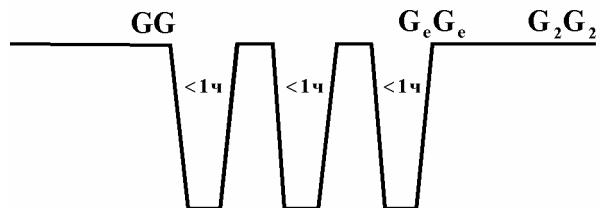
б) неравномерно в течение части периода или за весь период



в) равномерно, но в неопределенное время в течение указанного периода



2. TEMPO YYGG/Y_eY_eG_eG_e – даты (YY, Y_eY_e) и период времени, в течение которого ожидаются временные изменения (флуктуации) метеоусловий, (GG – начало, G_eG_e – окончание периода, в целых часах UTC) причем ожидаемая продолжительность этих изменений в каждом случае не превысит 1 часа, а в сумме они охватят менее половины периода GG – G_eG_e.



После групп изменения **TTTTT YYGG/Y_eY_eG_eG_e** указываются только те элементы, по которым прогнозируются изменения. Прогноз элементов, по которым после групп **TTTTT YYGG/Y_eY_eG_eG_e** не даны новые прогностические значения, считается справедливым для всего периода действия прогноза **G₁G₁G₂G₂**.

Группа изменения **TTYYGGgg** в форме **FMYYGGgg** делит общий период действия прогноза (**G₁G₁G₂G₂**) на две или более самостоятельные части. После группы **FMYYGGgg** передаются все прогнозируемые условия погоды, начиная с группы “ветер”. То есть все прогнозируемые условия, переданные до этой группы, заменяются условиями, указанными после нее.

15. TXT_FT_F/Y_FY_FG_FG_FZ TNT_FT_F/Y_FY_FG_FG_FZ – прогноз максимальной и минимальной температуры воздуха.

TX – буквенный указатель максимальной температуры;
TN – буквенный указатель минимальной температуры;
T_FT_F – прогнозируемая максимальная (минимальная) температура воздуха в целых градусах Цельсия;
Y_FY_F – дата текущего месяца;
G_FG_F – время (в целых часах UTC), на которое дается прогноз температуры;
Z – указатель UTC.

ПРИМЕР РАСКОДИРОВАНИЯ ПРОГНОЗА TAF

TAF (TAF AMD) UKKG 141000Z 1412/1421 (1412/1512)
 14010G15MPS 2000 SN BLSN OVC010 OVC090 OVC200 680105
 650608 621400 PROB40 TEMPO 1413/1415 1000 +SN BECMG
 1416/1418 0600 +SN BLSN VV002 FM141900 VRB01MPS 0300
 FG VV000 TXM05/1413Z TNM09/1421Z

Прогноз погоды (измененный прогноз погоды) по аэророму Кировоград. Прогноз составлен 14 числа текущего месяца в 10.00 UTC. Срок действия прогноза от 12.00 UTC до 21.00 UTC 14 числа данного месяца (Срок действия прогноза от 12.00 UTC 14 числа до 12.00 UTC 15 числа текущего месяца). В период от 12.00 UTC до 19.00 UTC 14 числа ветер 140° 10 м/сек, порывы до 15 м/сек. Преобладающая видимость 2000 м, снег, снежная низовая метель. Облачность сплошная, 8 октантов, НГО 300 м. Облачность сплошная, 8 октантов, НГО 2700 м. Облачность сплошная, 8 октантов, НГО 6000 м. Сильное обледенение в

облаках, нижний уровень обледенения 300 м, толщина слоя обледенения 1500 м (в облаках от 300 м до 1800 м сильное обледенение). Умеренное обледенение в облаках, нижний уровень обледенения 1800 м, толщина слоя умеренного обледенения 2400 м. Слабое обледенение в облаках, нижний уровень обледенения 4200 м, толщина слоя – до ВГО. В период от 13.00 UTC до 15.00 UTC 14 числа, временами, с вероятностью 40%, преобладающая видимость 1000 м, сильный снег. В период от 16.00 UTC до 18.00 UTC 14 числа ожидаются устойчивые изменения погоды – преобладающая видимость 600 м, сильный снег, снежная низовая метель. Вертикальная видимость 60 м. В период от 19.00 UTC до 21.00 UTC 14 числа ветер переменный 1 м/с. Преобладающая видимость 300 м. Туман. Вертикальная видимость менее 30 м. Максимальная температура -5°C в 13.00 UTC 14 числа. Минимальная температура -9°C в 21.00 UTC 14 числа.

Примеры телеграмм в формате кода TAF приводятся в Приложении 6.

11.4. ПРИЗЕМНЫЕ КАРТЫ ПОГОДЫ

Изучение погодных процессов на большой территории наиболее эффективно проводить с помощью специальных карт, на которые условными знаками нанесены результаты одновременных метеорологических или аэрологических (высотных) наблюдений. Такие карты получили название синоптических (от греческого слова “синоптикос” – одновременно обозревающий).

Синоптическая карта, на которую нанесены данные наблюдений у поверхности земли, называется приземной картой погоды, а карта с нанесенными данными аэрологических наблюдений – высотной или аэрологической.

Приземная карта погоды – это метеорологическая карта, которая отражает фактическое состояние погоды у поверхности земли в какой-то конкретный момент времени на определенной площади (рис. 11.1). Карты погоды делятся на основные и кольцевые.

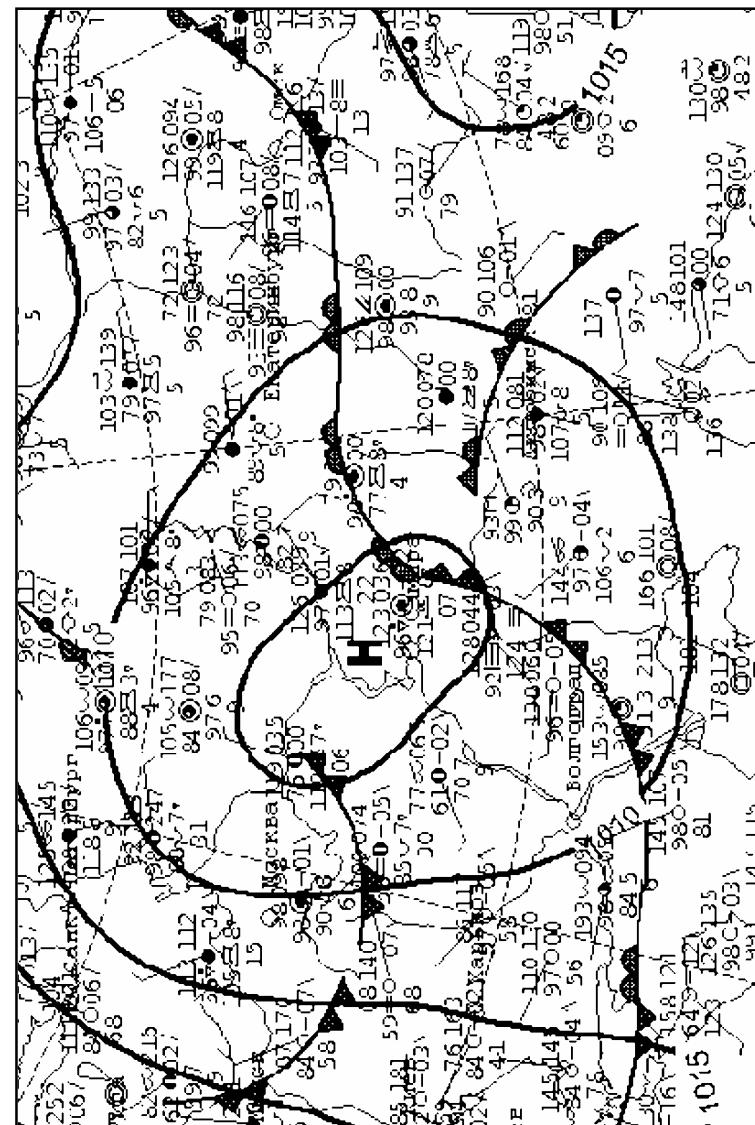


Рис. 11.1. Приземная карта погоды (пример)

Основные карты составляются через каждые 6 часов: в 00, 06, 12 и 18 часов UTC, их масштаб в 1 см – 150 (200 или 300) км. Эти карты охватывают огромные территории и позволяют анализировать атмосферные процессы на расстояниях протяженностью в несколько тысяч километров. По основным картам прогнозируются крупномасштабные процессы, такие как образование и перемещение циклонов и антициклонов, перемещение атмосферных фронтов. По этим картам составляются прогнозы погоды на срок 24-30 часов, а также прогнозы погоды по маршрутам большой протяженности.

Кольцевые карты (кольцовки) составляются через каждые 3 часа: в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 час UTC.

Это карты сравнительно небольших районов – от нескольких сотен до тысячи километров. Масштаб кользовок в 1 см – 50 км или в 1 см – 25 км. По этим картам уточняются прогнозы погоды на несколько часов, а также составляются предупреждения о возникновении опасных для авиации явлений погоды.

Сведения о погоде наносятся на основные и кольцевые карты в виде цифр и условных значков (символов) в строго определенном порядке вокруг кружка станции в соответствии с кодом КН-01 (Приложение 3).

Первичный анализ (обработка) приземных карт погоды заключается в следующем:

- проводятся изобары (сплошные черные линии через 5 гПа) и выделяются барические системы.
- проводятся изаллобары и выделяются очаги роста и падения давления. **Изаллобара (изотенденция)** – это линия, соединяющая точки с одинаковым изменением давления. Изаллобары проводятся прерывистыми черными линиями через 1 гПа. В центрах областей падения давления красным карандашом ставится буква “**П**”, а в центрах областей роста – синим карандашом буква “**P**”. Рядом с буквами “**П**” и “**P**” указывается значение максимального изменения давления в гектопаскалях с точностью до десятых долей (без знака).
- проводятся атмосферные фронты соответствующими орнаментами и цветами (табл. 11.1).
- выделяются особые явления погоды соответствующими знаками и цветами (табл. 11.1).

Таблица 11.1. Условные обозначения атмосферных фронтов и явлений на картах погоды

Атмосферный фронт или явление погоды	Условные обозначения	Цвет	Примечание
Теплый фронт		красный	
Холодный фронт		синий	
Фронт окклюзии		коричневый	
Стационарный фронт		красный синий	
Вторичный теплый фронт		красный	
Вторичный холодный фронт		синий	
Зона обложных осадков		зеленый	Только в срок наблюдения
Обложные осадки местами		– " –	– " –
Слабый снег		– " –	– " –
Ливневые осадки		– " –	В срок наблюдения и в течение последнего часа
Гроза		красный синий	– " – Между сроками наблюдения
Зарница		красный	В срок наблюдения
Общая метель		зеленый	– " –
Зона туманов		желтый	– " –
Туман местами		желтый	– " –
Дымка при видимости менее 2 км		желтый	– " –
Мгла при видимости менее 2 км		желтый	– " –
Пыльная или песчаная буря		желтый	В срок и между сроками наблюдения
Смерч		красный	– " –
Поземок		зеленый	В срок наблюдения
Низовая метель		зеленый	– " –

11.5. КАРТЫ БАРИЧЕСКОЙ ТОПОГРАФИИ

Карты барической топографии (БТ) составляются по данным радиозондирования в 00, 06, 12 и 18 часов UTC. По этим картам определяются метеорологические условия на различных высотах, а также уточняется анализ погоды у поверхности земли. Карты БТ составляются для поверхностей равного давления, которые называются **изобарическими**.

Изобарические поверхности не параллельны уровню моря. В зависимости от распределения давления на уровне моря и от распределения температуры воздуха они или поднимаются несколько вверх (над антициклонами и над районами с теплым воздухом) или опускаются вниз (над циклонами и над районами с холодным воздухом) относительно своей средней высоты. Высота изобарической поверхности измеряется в геопотенциальных метрах или декаметрах (десятках метров). Изобарических поверхностей в атмосфере можно выделить бесконечное множество. На практике обычно выделяют несколько. Их называют стандартными или главными.

В зависимости от уровня отсчета высоты изобарической поверхности эти карты подразделяются на (рис. 11.2):

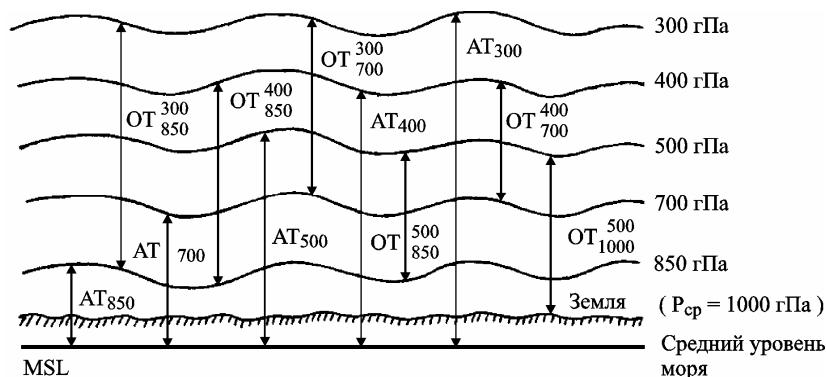


Рис. 11.2. Изобарические поверхности и карты барической топографии

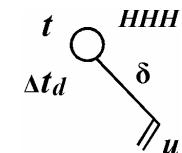
– карты абсолютной топографии (АТ) – высота изобарической поверхности отсчитывается от среднего уровня моря;

– карты относительной топографии (ОТ) – высота отсчитывается от любой ниже расположенной изобарической поверхности или от поверхности земли. На практике составляется только одна карта ОТ – ОТ₁₀₀₀⁵⁰⁰.

Карты абсолютной топографии (рис. 11.3) составляются для следующих изобарических поверхностей:

- 850 гПа $H_{cp} \approx 1,5$ км (слой воздуха 1...2 км);
- 700 гПа $H_{cp} \approx 3$ км (слой воздуха 2...4 км);
- 500 гПа $H_{cp} \approx 5$ км (слой воздуха 4...6 км);
- 400 гПа $H_{cp} \approx 7$ км (слой воздуха 6...8 км);
- 300 гПа $H_{cp} \approx 9$ км (слой воздуха 8...10 км);
- 200 гПа $H_{cp} \approx 12$ км (слой воздуха 10...14 км);
- 100 гПа $H_{cp} \approx 16$ км (слой воздуха 14...18 км);
- и т.д.
- 10 гПа $H_{cp} \approx 32$ км.

На карты АТ наносятся следующие данные:

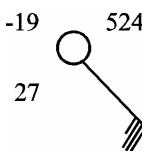


где HHH – высота изобарической поверхности в геопотенциальных декаметрах (гп.дам) 1 дам = 10 м;
 t – температура воздуха на высоте данной изобарической поверхности в целых градусах Цельсия;
 Δt_d – дефицит точки росы – указывается цифровым кодом (ц.к.).

Если ц.к. 00...50, то $\Delta t_d = \frac{ц.к.}{10}$

Если ц.к. 56...99, то $\Delta t_d = ц.к. - 50$

Направление δ и скорость u ветра наносятся так же, как на приземной карте погоды.



Например:

$H = 5240$ гп.м $t = -19^{\circ}\text{C}$ $\Delta t_d = 2,7^{\circ}\text{C}$
 $\delta = 140^{\circ}$ $u = 17$ м/с

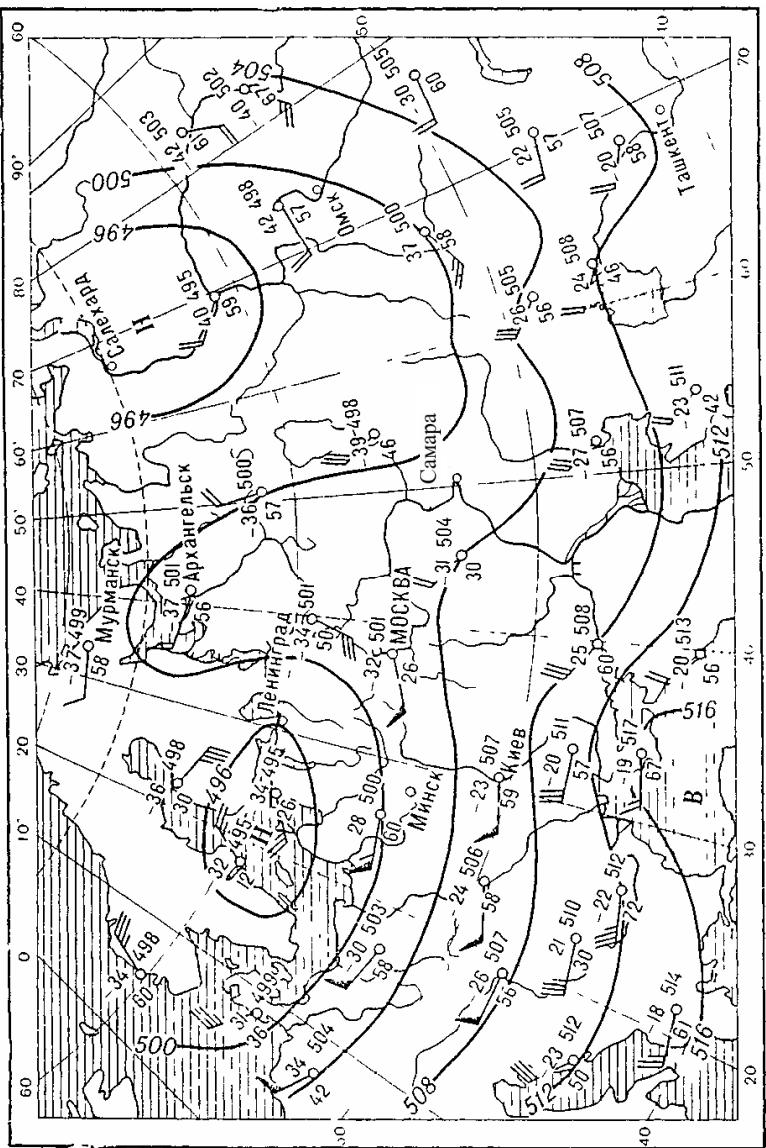


Рис. 11.3. Карта абсолютной топографии (пример)

На картах АТ точки с одинаковой высотой данной изобарической поверхности соединяются плавными черными линиями, которые называются **изогипсами** (изос – равно, гипса – высота).

На картах АТ-850, АТ-700 и АТ-500 гПа изогипсы проводятся через 40 гП.м (4 дам). Это соответствует разности давления 5 гПа (до 5 км барическая ступень $h = 8 \text{ м}/1 \text{ гПа}$. Следовательно, $\Delta P = 5 \text{ гПа} \Rightarrow \Delta H = 40 \text{ гП.м}$).

На картах АТ-400, АТ-300, АТ-200 гПа изогипсы проводятся через 80 гП.м (8 дам), что также соответствует разности давления 5 гПа (выше 5 км $h = 15\dots16 \text{ м}/\text{гПа}$, следовательно $\Delta P = 5 \text{ гПа} \Rightarrow \Delta H = 75\dots80 \text{ гП.м}$).

Таким образом, изогипсы на картах АТ равнозначны изобарам на приземных картах погоды.

В результате проведения изогипс на картах АТ выделяются высотные центры барических систем (циклоны и антициклоны), которые очерчены замкнутыми изогипсами. В циклоне высота изобарической поверхности к центру уменьшается, а в антициклоне – увеличивается.

С помощью карт абсолютной топографии можно решать следующие задачи:

1. Определить направление и скорость ветра в том районе, где данные радиозондирования отсутствуют

На картах АТ определяется направление и скорость градиентного ветра, характеристики которого зависят от направления и густоты изогипс (рис. 11.4).

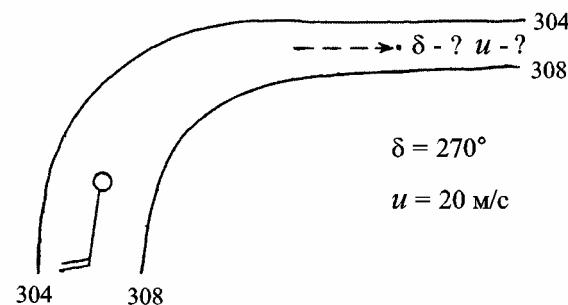


Рис. 11.4. Определение направления и скорости ветра

Ветер на картах АТ направлен вдоль изогипс, оставляя изогипсу с меньшей высотой слева. Скорость ветра пропорциональна густоте изогипс и определяется путем сравнения с рядом расположенной станцией, на которой есть информация о скорости ветра. Чем гуще изогипсы, тем скорость ветра больше. Более точно скорость ветра определяется с помощью специальной (градиентной) линейки или по формуле (4.14):

$$u \text{ (км/ч)} = \frac{242}{\sin \varphi} \frac{\Delta H}{\Delta S},$$

где φ – географическая широта района, в котором определяется ветер;

ΔS – расстояние по нормали от одной изогипсы до другой, между которыми находится рассматриваемый пункт (км);

ΔH – разность высот между теми же изогипсами (гп.м).

2. Определить струйное течение

СТ определяются по картам АТ-400, АТ-300, АТ-200 гПа. На этих картах СТ имеет вид незамкнутых, вытянутых на большие расстояния изогипс, в зоне которых скорость ветра 30 м/с и более (рис. 11.5).

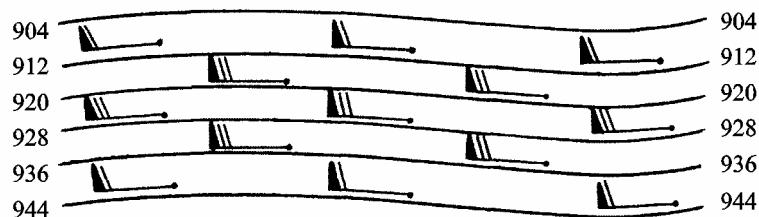


Рис. 11.5. Определение струйного течения

3. Определить зоны облачности и обледенения

На изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа облачность вероятна при $\Delta t_d \leq 2^{\circ}\text{C}$.

На изобарических поверхностях 400, 300, 200 гПа облачность вероятна при $\Delta t_d \leq 4^{\circ}\text{C}$.

Если на высоте есть условия для образования облаков и температура воздуха ниже 0°C, то при полете на этой высоте будет наблюдаться обледенение ВС (0°C...-10°C – сильное, -11°C...-20°C – умеренное, -21°C...-30°C – слабое).

4. Определить зоны болтанки

Если на небольшом участке маршрута резко меняется направление или скорость ветра или то и другое вместе, то при полете на этом участке будет наблюдаться болтанка ВС (рис. 11.6).

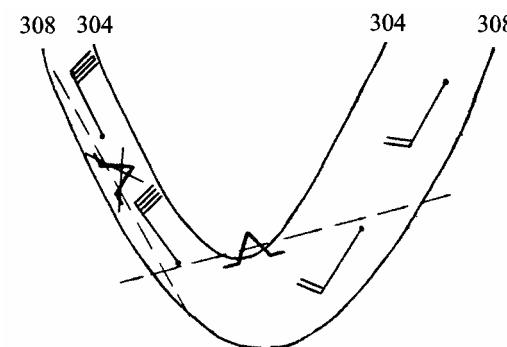


Рис. 11.6. Определение зон болтанки

5. Определить ведущий поток

Ведущий поток – это господствующее (преобладающее) направление ветра над данным районом в средней тропосфере (в слое 3...6 км) – карты АТ-700 гПа и АТ-500 гПа. Ведущий поток существует над теми районами, над которыми изогипсы на картах АТ-700 гПа и АТ-500 гПа незамкнуты. Если изогипсы над каким-то районом на картах АТ замкнуты, то это говорит о том, что над этим районом в данный момент времени ведущего потока нет, и характер погоды у земли в этом районе меняться не будет.

По ведущему потоку определяется направление и скорость перемещения основных барических систем, а также скорость перемещения воздушных масс и атмосферных фронтов.

Циклоны и антициклоны перемещаются в направлении ведущего потока, который наблюдается над их приземными центрами.

Скорость перемещения барических систем, воздушных масс и атмосферных фронтов составляет 80% от средней скорости ведущего потока, определенного по карте AT-700 гПа, или 50% от средней скорости ведущего потока, определенного по карте AT-500 гПа. В холодное время года ведущий поток определяется, как правило, по карте AT-700 гПа, в теплое – по карте AT-500 гПа.

6. Определить вертикальную мощность циклонов и антициклонов

Чтобы определить вертикальную мощность циклонов и антициклонов, нужно проанализировать положение их центров на карте погоды и картах АТ за один и тот же срок. Самая высокая карта АТ, на которой еще есть замкнутая изогипса с обозначением центра барической системы, и укажет, до какой высоты развита эта барическая система (рис. 11.7).

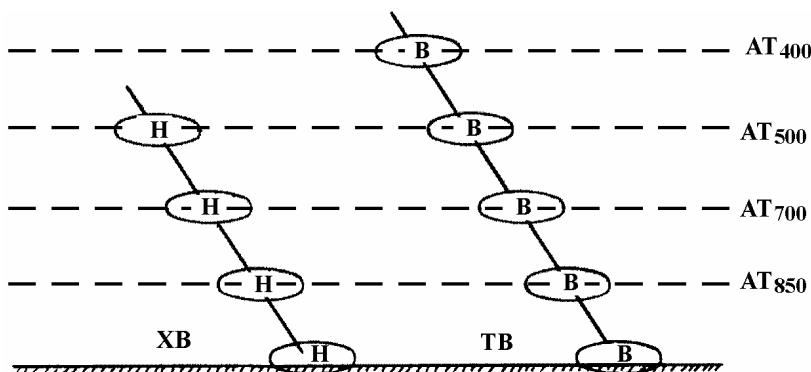


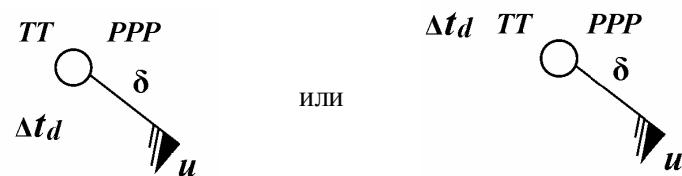
Рис. 11.7. Определение вертикальной мощности циклонов и антициклонов

Условная линия, которая соединяет приземные и высотные центры барических систем, называется пространственной осью циклона или антициклона. У молодых подвижных циклонов и антициклонов приземные и высотные центры не совпадают, и их пространственная ось наклонена – у циклона в сторону ХВ, у антициклона в сторону ТВ. Если же приземные и высотные центры барической системы совпадают (пространственная ось перпендикулярна подстилающей поверхности), то такая барическая система будет малоподвижной. Чем выше на картах АТ просматривается центр барической системы и чем большим количеством замкнутых изогипс она выражена, тем она “старее”.

11.6. КАРТЫ ТРОПОПАУЗЫ

Карты тропопаузы составляются по данным радиондирования в 00, 06, 12 и 18 часов UTC. Эти карты дают представление о пространственном положении тропопаузы (рис. 11.8).

На карты наносятся следующие данные:



PPP – давление на самом нижнем уровне тропопаузы в гПа;
TT – температура воздуха на уровне тропопаузы в целых °C;
 Δt_d – дефицит точки росы – указывается цифрой кода (точно так же, как на картах АТ);
 δ , u – направление и скорость ветра м/с (наносится так же, как на приземной карте погоды).

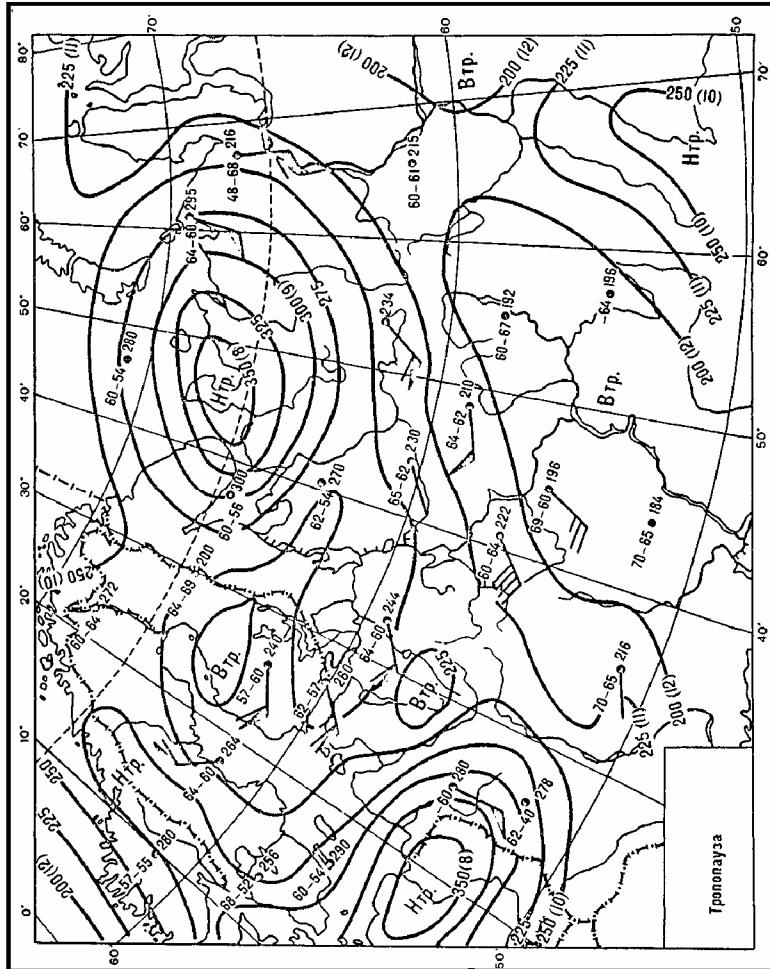


Рис. 11.8. Карта тропопаузы (пример)

Например:

$$\begin{array}{r} -40 \\ \times 61 \\ \hline \end{array}$$

На уровне тропопаузы:
 $P = 281 \text{ гПа}$
 $t = -40^\circ\text{C}$
 $\Delta t_d = 11^\circ\text{C}$
 Ветер 120° 37 м/с.

На картах тропопаузы проводятся изобары: до 250 гПа через 50 гПа, далее – через 25 гПа (225, 200 и т.д.). Такой же интервал применяется в случае малых градиентов давления. Это соответствует изменению высоты примерно на 1 км. Изобары дают наглядное представление о том, где тропопауза располагается ниже (область больших значений давления), а где выше (область малых значений давления).

Центральная область наибольших высот тропопаузы закрашивается красным цветом, наименьших высот – синим цветом (более густым, чем океаны и моря). В центре области наибольших высот тропопаузы ставятся буквы B_{mp} (высокая тропопауза), в центре области наименьших высот – H_{mp} (низкая тропопауза). Справа от букв B_{mp} и H_{mp} указывается, соответственно, красным и синим цветом высота тропопаузы в км с десятками долями или в декаметрах.

По карте тропопаузы при полетах на высоких эшелонах можно определить, где ВС будет пересекать тропопаузу и ее наклон.

Для определения места пересечения ВС тропопаузы надо знать давление (в гПа), соответствующее заданному эшелону. На карте тропопаузы вдоль маршрута полета находят изобары, где давление равно давлению на эшелоне. Найденные точки и будут местами пересечения ВС тропопаузы.

Методика определения наклона тропопаузы рассмотрена в главе 10 (рис. 10.1)

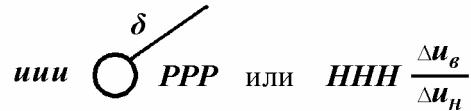
Так как на карте тропопаузы превышение одной изобары над другой составляет 1 км, то наклон тропопаузы определяется по кратчайшему расстоянию между двумя соседними изобарами, пересекающими маршрут или лежащими вдоль него. Если это расстояние, например, составляет 200 км, то наклон будет $1/200$. Таким образом, чем гуще изобары на карте тропопаузы, тем круче наклон тропопаузы.

11.7. КАРТЫ МАКСИМАЛЬНЫХ ВЕТРОВ

Карты максимальных ветров составляются по данным радиозондирования в 00, 06, 12 и 18 часов UTC (рис. 11.9).

По этим картам уточняется положение оси струйного течения (СТ), определяется высота ее залегания, горизонтальные и вертикальные сдвиги ветра в зоне струйного течения.

На карту максимальных ветров наносятся следующие данные:



PPP – высота в гПа, на которой наблюдается максимальный ветер над данным пунктом;

HHH – высота в десятках метров или в километрах с десятыми долями, на которой наблюдается максимальный ветер, над данным пунктом;

δ – направление максимального ветра;

ddd – скорость максимального ветра (цифрами) в м/с;

Δu_e – вертикальные сдвиги ветра:

Δu_h

Δu_e – величина изменения скорости ветра на 1000 м вверх от данной высоты;

Δu_h – величина изменения скорости ветра на 1000 м вниз от данной высоты.

Точки с одинаковой скоростью ветра соединяются на карте тонкими черными линиями. Эти линии называются *изотахами*. Изотахи проводятся через 10 м/с, начиная с 30 м/с. Изотаха 30 м/с является границей СТ. Точки с максимальными скоростями соединяются на карте жирными стрелами – это ось СТ.

Области максимальных ветров, очерченные изотахой 30 м/с, выделяются зеленым цветом. Центральная часть области выделяется красным цветом. В этой зоне указывается высота оси СТ в км с десятыми долями и скорость ветра на оси СТ в м/с или в км/ч.

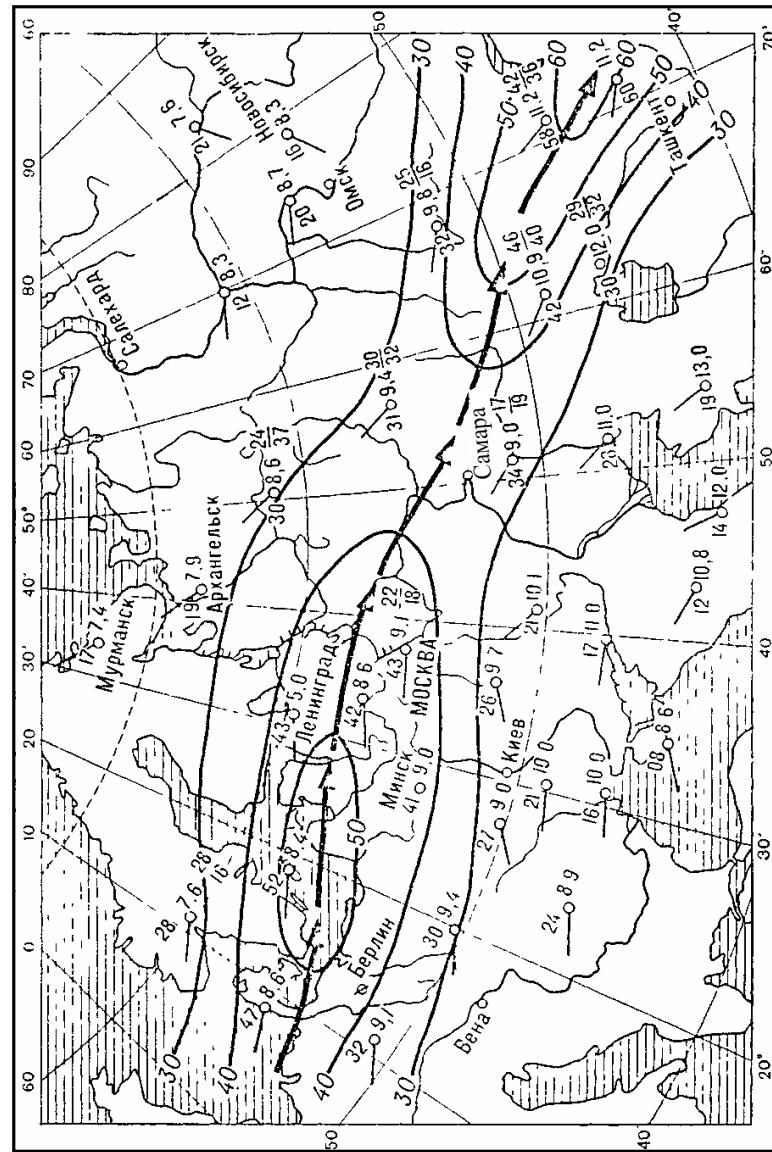


Рис. 11.9. Карта максимальных ветров (пример)

С приземной карты погоды за тот же срок переносятся положения центров циклонов и антициклонов.

Вертикальные сдвиги ветра указаны на карте в виде дроби – в числителе на 1000 м вверх, в знаменателе на 1000 м вниз от нанесенной рядом высоты. Вертикальный сдвиг ветра на 100 м высоты равен 1/10 от указанной на карте величины.

Горизонтальные сдвиги ветра оцениваются по густоте изотах. Чем гуще изотахи, тем больше горизонтальные сдвиги ветра.

Количественно горизонтальный сдвиг ветра можно рассчитать по расстоянию (S) между изотахами:

$$\Delta u_{100 \text{ км}} = \frac{10 \text{ (м/с)}}{S \text{ (км)}} \cdot 100 \quad (11.1)$$

По сдвигам ветра можно судить о наличии болтанки при полете в зоне струйных течений.

11.8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГНОЗАХ ПОГОДЫ

Прогнозом погоды называется научно обоснованное предположение о метеорологических условиях, ожидаемых в определенный момент или период времени в определенной зоне или части воздушного пространства.

В зависимости от того, для каких целей составляются прогнозы погоды, и кем они используются в практической деятельности, прогнозы различаются по методам составления, срокам, содержанию и форме представления.

По методам прогнозирования прогнозы бывают количественные (численные) и качественные (синоптические). Наибольшую известность и распространение получил синоптический метод, предусматривающий составление прогноза погоды на основе **прогноза синоптической ситуации**.

В зависимости от заглавовременности составления и сроков действия прогнозы погоды делятся на **долгосрочные** (от нескольких дней до месяца и даже целого сезона года) и **краткосрочные** (не более 3-х суток).

По содержанию прогнозы могут быть **общего пользования и специальные**. Специальные прогнозы составляются для обеспечения нужд различных отраслей народного хозяйства и обороны страны, в том числе и гражданской авиации. Прогнозы для гражданской авиации называются авиационными прогнозами погоды.

По форме прогнозы бывают **альтернативными и вероятностными**.

Альтернативный прогноз предусматривает лишь две возможности осуществления любых явлений (условий) погоды – или эти явления (условия) будут или их не будет.

Вероятностный прогноз – это прогноз, в котором указывается вероятность (%) осуществления прогнозируемых явлений или условий погоды.

По способам представления прогнозы бывают **текстовыми, цифровыми, картографическими и графическими**.

Прогнозы для гражданской авиации могут составляться в любой из форм, перечисленных выше, и любым из указанных способов.

В связи с изменчивостью метеорологических величин и явлений погоды в пространстве и во времени, а также ввиду несовершенства методики прогнозирования и ограничений, связанных с определением некоторых метеорологических величин (например, приземного ветра, видимости и др.), конкретное значение любой прогнозируемой метеорологической величины нужно рассматривать лишь как наиболее вероятное среднее значение, которое данная величина может иметь в течение периода действия прогноза. Точно так же, когда в прогнозе указывается время возникновения или изменения метеорологической величины, оно должно рассматриваться как наиболее вероятное время. Требования к точности авиационных прогнозов представлены в таблице 11.2.

Таблица 11.2. Точность прогнозов, желательная с точки зрения эксплуатации

Прогнозируемый элемент	Желательная точность	Обеспеченность
Прогноз по аэродрому		
<i>Направление ветра</i>	$\pm 20^\circ$	80% случаев
<i>Скорость ветра:</i>	$\pm 10 \text{ км/час}$ (5 узлов)	80% случаев
<i>Видимость:</i>	$\pm 200 \text{ м}$ $\pm 30\%$	80% случаев 80% случаев 80% случаев
<i>Осадки</i>	Наличие или отсутствие	80% случаев
<i>Количество облаков:</i>	± 1 октант	70% случаев
ниже 450 м (1500 футов)		70% случаев
450 м (1500 футов) ... 3000 м (10000 футов)		70% случаев
<i>BKN или OVC</i>	Наличие или отсутствие	70% случаев
<i>Высота облаков:</i>	$\pm 30 \text{ м}$ (100 футов)	70% случаев
до 300 м (1000 футов)		70% случаев
300 м (1000 футов)...3000 м (10000 футов)	$\pm 30\%$	70% случаев
<i>Температура воздуха</i>	$\pm 1^\circ\text{C}$	70% случаев
Прогноз для посадки		
<i>Направление ветра</i>	$\pm 20^\circ$	90% случаев
<i>Скорость ветра:</i>	$\pm 10 \text{ км/час}$ (5 узлов)	90% случаев
<i>Видимость:</i>	$\pm 200 \text{ м}$ $\pm 30\%$	90% случаев 90% случаев 90% случаев
<i>Осадки</i>	Наличие или отсутствие	90% случаев
<i>Количество облаков:</i>	± 1 октант	70% случаев
ниже 450 м (1500 футов)		70% случаев
450 м (1500 футов) ... 3000 м (10000 футов)		70% случаев
<i>BKN или OVC</i>	Наличие или отсутствие	70% случаев
<i>Высота облаков:</i>	$\pm 30 \text{ м}$ (100 футов)	90% случаев
до 300 м (1000 футов)		90% случаев
300 м (1000 футов)...3000 м (10000 футов)	$\pm 30\%$	90% случаев
Прогноз для взлета		
<i>Направление ветра</i>	$\pm 20^\circ$	90% случаев
<i>Скорость ветра:</i>	$\pm 10 \text{ км/час}$ (5 узлов)	90% случаев
<i>Температура воздуха:</i>	$\pm 1^\circ\text{C}$	90% случаев
<i>Давление (QNH)</i>	$\pm 1 \text{ гПа}$	90% случаев
Зональный прогноз, прогноз на полет и прогноз по маршруту		
<i>Температура воздуха на высотах</i>	$\pm 2^\circ\text{C}$ [средняя на 900 км (500 миль)]	90% случаев
<i>Относительная влажность</i>	$\pm 20\%$	90% случаев
<i>Ветер по высотам:</i>	$\pm 20 \text{ км/час}$ (10 узлов)	90% случаев
[модуль векторной разности для 900 км (500 миль)]		
<i>Особые явления погоды по маршруту полета и облачность:</i>	Наличие или отсутствие	80% случаев
местонахождение	$\pm 100 \text{ км}$ (60 миль)	70% случаев
вертикальная протяженность	$\pm 300 \text{ м}$ (1000 футов)	70% случаев
высота тропопаузы в единицах эшелона полета	$\pm 300 \text{ м}$ (1000 футов)	80% случаев
высота макс. ветра в единицах эшелона полета	$\pm 300 \text{ м}$ (1000 футов)	80% случаев

11.9. ПРАВИЛА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ВОЗДУШНЫХ МАСС, АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ И БАРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Прогноз будущего положения и состояния основных синоптических объектов (ВМ, АФ и БС), определяющих изменение всех метеорологических величин и развитие во времени всех явлений погоды, называется **прогнозом синоптической ситуации**.

Одним из самых важных элементов прогноза погоды является определение направления и скорости перемещения синоптических объектов, а также их эволюции.

Перемещение и трансформация воздушных масс

Направление перемещения ВМ совпадает с направлением ветра, который наблюдается в данном районе выше слоя трения, т.е. с направлением градиентного ветра. Следовательно, **ВМ перемещаются параллельно изобарам, оставляя изобару с меньшим давлением слева** (рис. 11.10).

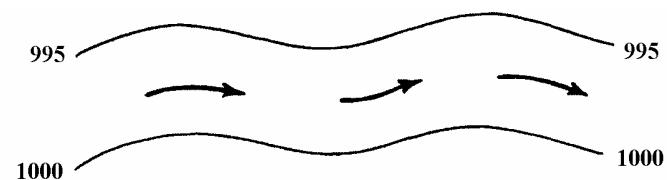


Рис. 11.10. Перемещение воздушных масс

При своем движении ВМ переходит с одной подстилающей поверхности на другую и изменяет свои свойства (например, над морем – увлажняется, над пустыней – высушивается и запыляется). Свойства ВМ изменяются также в течение года и суток. Изменение свойств ВМ называется ее **трансформацией**. Трансформация воздушной массы происходит непрерывно и повсеместно. Она будет тем сильнее, чем больше отличается температура ВМ от температуры подстилающей поверхности. Поэтому при анализе метеоусловий необходимо:

- определить, откуда приходит ВМ;
- оценить, какие изменения произойдут в погоде ВМ за счет ее трансформации.

Перемещение и эволюция атмосферных фронтов

АФ – это раздел между двумя различными по температуре ВМ, поэтому перемещение фронта зависит от движения теплого и холодного воздуха по отношению к линии фронта. Так как ВМ перемещаются параллельно изобарам, то при определении направления перемещения АФ нужно учитывать, как он располагается относительно изобар на карте погоды. АФ может располагаться параллельно изобарам и может пересекать их под различными углами:

a) АФ параллелен изобарам (рис. 11.11)

В этом случае ВМ движутся параллельно линии фронта, поэтому перемещать фронт они не будут, фронт будет мало-подвижным или стационарным.

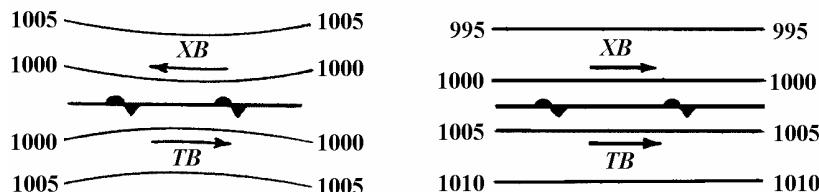


Рис. 11.11. Атмосферный фронт параллелен изобарам

б) АФ перпендикулярен изобарам (рис. 11.12).

В этом случае обе ВМ перемещаются перпендикулярно линии фронта, поэтому фронт будет двигаться вместе с ВМ, т.е. в направлении и со скоростью градиентного ветра.

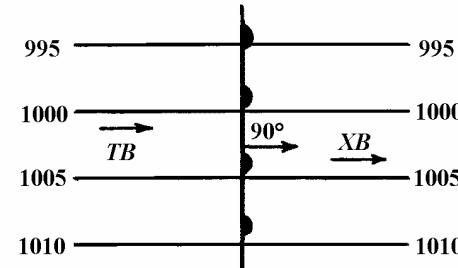


Рис. 11.12. Атмосферный фронт перпендикулярен изобарам

в) АФ пересекает изобары под углом, не равным 90° (рис. 11.13)

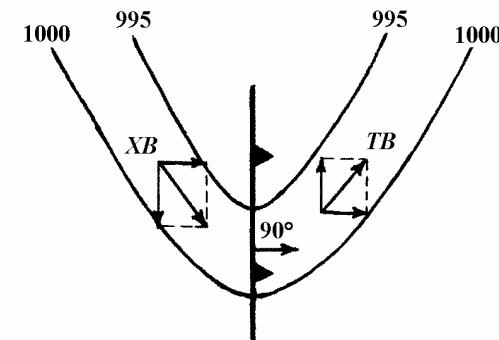


Рис. 11.13. Атмосферный фронт пересекает изобары под углом не равным 90°

Раскладываем вектор ветра в теплом и холодном воздухе на две составляющие – параллельную и перпендикулярную линии фронта. Составляющие вектора ветра, параллельные линии фронта, перемещать фронт не будут, следовательно, в этом случае фронт перемещается под влиянием и в направлении составляющей ветра, перпендикулярной к линии фронта на данном участке.

Таким образом, *если на карте погоды линия фронта пересекает изобары (под любым углом), то перемещение фронта на каждом участке происходит по перпендикуляру к этому участку, оставляя низкое давление слева*. Скорость

перемещения фронта будет тем больше, чем ближе к 90° угол пересечения фронта с изобарами и чем гуще изобары, с которыми пересекается фронт (рис 11.14).

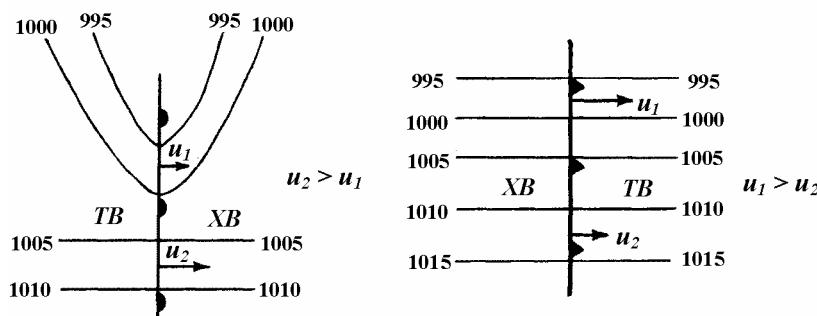


Рис. 11.14. Зависимость скорости движения фронта от угла пересечения фронта с изобарами и густоты изобар

Эволюция атмосферных фронтов

При своем движении АФ могут обостряться и размываться. Если АФ обостряется, то вертикальная мощность облаков на фронте увеличивается, безоблачные прослойки исчезают, нижняя граница облачности понижается, осадки усиливаются, видимость в осадках ухудшается, интенсивность опасных явлений (обледенение, болтанка, гроза) увеличивается. Обострение и размывание АФ происходит по следующим причинам:

- если в зоне фронта контраст температур между соприкасающимися ВМ увеличивается, фронт обостряется, если контраст температур уменьшается, фронт размывается;
- если перед АФ давление падает больше, чем на 1 гПа, то такой фронт обостряется, если давление растет больше, чем на 1 гПа, то фронт размывается;
- по мере удаления от центра циклона восходящие движения ослабевают, поэтому на периферии циклона АФ размываются;
- АФ, которые проходят через антициклон или гребень, под влиянием нисходящих движений, характерных для этих барических систем, размываются;

- на наветренных склонах гор все АФ обостряются, на подветренных – размываются;
- ТФ обостряются зимой (ухудшение видимости и понижение облачности) и летом ночью (скрытые грозы), ХФ – летом днем (интенсивное развитие кучево-дождевых облаков и гроз).

Перемещение и эволюция барических систем

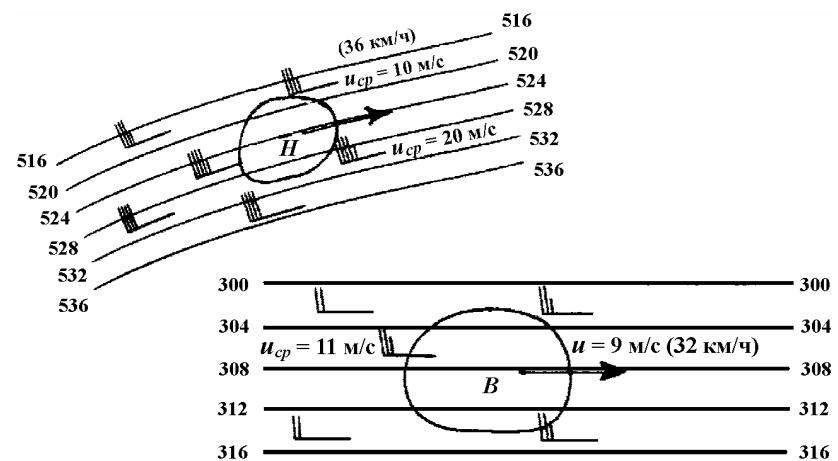


Рис. 11.15. Определение направления перемещения циклонов и антициклонов по ведущему потоку

Молодые подвижные циклоны и антициклоны перемещаются в направлении ведущего потока, который наблюдается над их приземными центрами (рис. 11.15). Скорость перемещения циклонов и антициклонов составляет 80% от средней скорости ведущего потока на карте АТ-700 или 50% – на карте АТ-500. В холодное время года ведущий поток определяется по АТ-700 гПа, в теплое – по АТ-500 гПа. Это основное правило перемещения барических систем (см. раздел 11.1).

По приземным картам погоды перемещение барических систем можно определить по следующим правилам:

а) Центр циклона

перемещается параллельно изобарам теплого сектора, оставляя теплый сектор справа от направления движения (рис. 11.16).

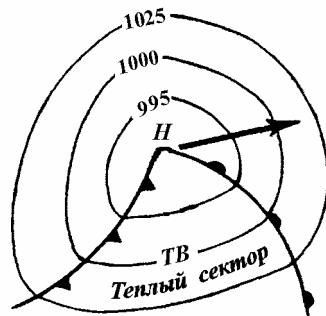


Рис. 11.16. Определение направления движения циклона по теплому сектору

б) Центр циклона

перемещается параллельно линии, соединяющей очаг роста давления с очагом падения (по изаллобарической паре) в сторону очага падения давления (рис. 11.17).

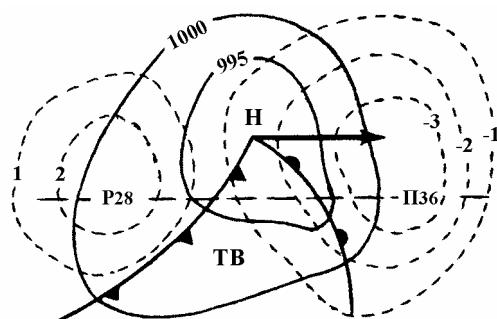


Рис. 11.17. Определение направления движения циклона по очагам роста и падения давления

в) Ложбина, образо-

вшаяся на периферии циклона, перемещается вместе с циклоном и одновременно поворачивается вокруг его центра против часовой стрелки (рис. 11.18).

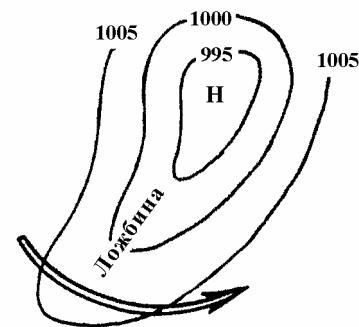


Рис. 11.18. Определение направления движения ложбины

г) Антициклон перемещается в сторону очага максимального роста давления, расположенного на его периферии. Если очаг роста давления находится в центре антициклона, то антициклон является стационарным (рис. 11.19).

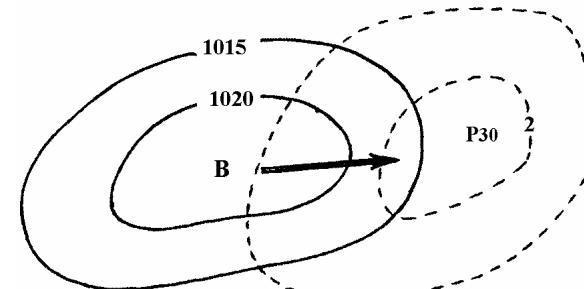


Рис. 11.19. Определение направления движения антициклона

д)

Гребень, образовавшийся на периферии антициклона, перемещается вместе с антициклоном и в то же время огибает его центр по часовой стрелке (рис. 11.20).

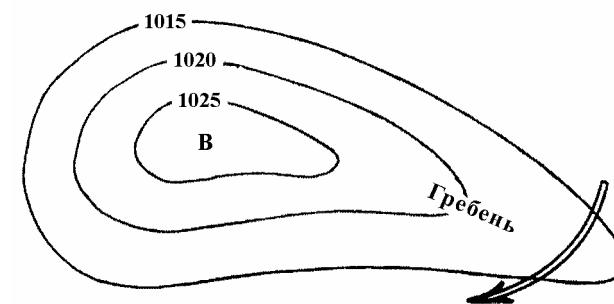


Рис. 11.20. Определение направления движения гребня

Эволюция барических систем

1. Если в центре циклона, в ложбине давление падает, т.е. барические тенденции отрицательные, то циклон, ложбина углубляются (развиваются), и погода в этих барических системах ухудшается.
2. Если в центре циклона, в ложбине давление растет, т.е. барические тенденции положительные, то циклон, ложбина заполняются (разрушаются), и погода в этих барических системах становится лучше.
3. Если в центре антициклона, в гребне давление растет, то антициклон, гребень усиливаются (развиваются), и хорошая погода в этих барических системах будет сохраняться продолжительное время.
4. Если в центре антициклона, в гребне давление падает, то антициклон, гребень разрушаются, и погода в этих барических системах будет ухудшаться.

11.10. ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ ПО АЭРОДРОМУ

Прогнозы по аэродрому составляются аэродромными метеорологическими органами, назначенными Госгидрометом по согласованию с Госавиаслужбой. Прогноз состоит из краткого сообщения об ожидаемых метеорологических условиях на аэродроме в течение определенного периода времени. Метеорологические органы, составляющие прогнозы по аэродрому, осуществляют постоянный контроль за прогнозами и вносят в них, по мере необходимости, соответствующие изменения (корректизы).

Прогнозы составляются на период действия не менее 6 часов и не более 30 часов, этот период должен определяться в соответствии с региональным аeronавигационным соглашением. В тех случаях, когда ожидается значительное и более или менее полное изменение одной группы превалирующих условий погоды на другую группу условий, срок действия прогноза разбивается на самостоятельные периоды сокращением “FM” (from), непосредственно после которого следует шестизначная группа (дата и время в целых часах и минутах UTC),

указывающая начало периода ожидаемых изменений. Прогноз, следующий за “FM”, является самостоятельным и указанные после “FM” метеорологические условия заменяют все прогнозируемые метеоусловия, предшествующие сокращению “FM”.

Прогнозы с периодом действия менее 12 часов составляются через каждые 3 часа, а с периодом действия от 12 до 30 часов – каждые 6 часов и передаются на обмен за 1 час 15 минут до начала их действия. Например, в Украине 24 часовые прогнозы составляются и направляются в главный центр системы телесвязи в периоды: 04.30-04.45 UTC (на период действия 06-06 UTC), 10.30-10.45 UTC (на период действия 12-12 UTC), 16.30-16.45 UTC (на период действия 18-18 UTC), 22.30-22.45 UTC (на период действия 00-24 UTC). При этом выпуск каждого нового прогноза означает, что всякий ранее выпущенный однотипный прогноз для того же места и на тот же период действия автоматически аннулируется. Т.е. метеорологические органы обеспечивают наличие на аэродроме в любое время не более одного действующего прогноза.

Прогнозы по приписным аэродромам, при отсутствии или непоступлении данных о фактической погоде, составляются как ориентировочные.

Прогнозы по аэродрому, изменения и корректизы к ним составляются в формате кода TAF или открытым текстом с использованием принятых сокращений.

Прогнозы в формате кода TAF рассылаются международным банкам данных ОРМЕТ и центрам,енным региональным аeronавигационным соглашением для эксплуатации спутниковых систем рассылки данных в рамках авиационной фиксированной службы.

11.11. ПРОГНОЗЫ ДЛЯ ПОСАДКИ (*Landing forecast*)

Прогнозы для посадки предназначены для воздушных судов, находящихся в пределах 1 часа полетного времени от аэродрома, и для местных потребителей.

В соответствии с региональным аeronавигационным соглашением прогнозы для посадки составляются в виде прогноза типа *TREND*.

Прогноз для посадки типа *TREND* состоит из регулярной (METAR) или специальной (SPECI) сводки по аэродрому, к которой прилагается краткое изложение ожидаемых метеорологических условий в районе аэродрома. Период действия прогноза *TREND* составляет 2 часа, начиная со времени, на которое составлена сводка, являющаяся частью прогноза для посадки. В прогнозе для посадки типа *TREND* указываются значительные изменения одного или нескольких следующих величин: приземного ветра, видимости, явлений погоды и облачности. Включаются только те величины, которые, как ожидается, будут в значительной степени изменяться. Если существенные изменения метеоусловий не ожидаются, об этом указывается с помощью термина NOSIG. Ожидаемое прекращение явлений погоды указывается с помощью сокращения NSW.

11.12. ПРОГНОЗЫ ДЛЯ ВЗЛЕТА – FCST TAKE-OFF (Forecast for take-off)

Прогноз для взлета относится к определенному периоду времени и содержит информацию об ожидаемых метеорологических условиях в районе комплекса ВПП, а именно: о направлении и скорости приземного ветра и любых изменениях этих параметров, о температуре, о давлении (QNH) и о любых других величинах, в отношении которых достигнуто локальное соглашение.

Например:

FCST TAKE-OFF
data for Larnaga airport

1200Z 24012KT PS16 Q1014
1300Z 24012KT PS17 Q1014
1400Z 25015KT PS18 Q1014
1500Z 25015KT PS18 Q1013

Прогноз для взлета предоставляется эксплуатантам и членам летного экипажа по запросу в течение 3 часов до ожидаемого времени вылета.

Содержание:

Прогноз для взлета. Данные аэропорта Ларнага (Кипр).
В 12.00 UTC ветер 240° 12 узлов, температура +16°C.
QNH = 1014 гПа и т.д.

11.13. ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ КАРТЫ (Prognosis charts)

Всемирные центры зональных прогнозов составляют и рассыпают потребителям глобальные прогнозы погоды для всех требуемых уровней в узлах регулярной сетки в цифровом виде с использованием кодовой формы GRIB (см. п. 12.1 на стр. 416):

На основании указанных цифровых прогнозов ВЦЗП составляют следующие виды прогностических карт, которые используются при метеорологическом обеспечении полетов:

1. **Прогностические карты особых явлений погоды** (Prognosis of significant weather charts) – **SIGWX**:
 - для высоких уровней полета – FL250 – FL630 (выше уровня 400 гПа) – **Форма SWH**;
 - для средних уровней полета – FL100 – FL250 (700 – 400 гПа) – **Форма SWM**, или для средних и высоких уровней полета – FL100 – FL430 (700 – 150 гПа) – Форма **SWM/SWH**;
 - для низких уровней полета – ниже FL100 (ниже уровня 700 гПа) – **Форма SWL**.
2. **Прогностические карты ветра и температуры воздуха на высотах для стандартных изобарических поверхностей** (Upper wind and temperature charts for standard isobaric surfaces) – **Форма IS**.

Прогностические карты составляются 4 раза в сутки на основании данных наблюдений, собранных в 00, 06, 12 и 18.00 UTC. В заголовке карты указывается метеорологический центр, составивший карту, название карты, время фиксированных положений на карте (VALID ...), стандартный срок наблюдения, по данным которого составлена карта (Data time ...), а также единицы измерения высоты и скорости. На прогностических картах, составленных ВЦЗП, все высоты даны в уровнях полета – FL (в сотнях футов), все скорости – в узлах. На прогностических картах, составленных метеорологическими центрами Украины и России, высоты указываются в декаметрах, а все скорости – в км/ч.

Период действия прогностических карт особых явлений погоды (SIGWX) составляет 24 часа, прогностических карт ветра и температуры воздуха на высотах (IS) – 6, 12, 18, 24, 30 и 36 часов. Прогностические карты действительны до фиксированного времени (VALID), указанного на карте. Начало действия

прогноза – стандартный срок наблюдения, по данным которого составлена эта карта. Распространение прогностических карт осуществляется так скоро, как это технически возможно, но не позднее 11 часов для карт SIGWX, и не позднее 6 часов для карт IS после стандартного срока наблюдения.

Сокращенный заголовок карт ВЦЗП Лондон имеет такой формат:

1. Прогностическая карта особых явлений

T₁T₂A₁A₂ii CCCC YYGGgg

2. Прогностическая карта ветра и температуры

T₁T₂A₁A₂ii.

Указанные символы имеют такой смысл:

T₁ – указатель типа данных: графическая информация – *P*;

T₂ – указатель типа данных: особые явления погоды – *G*,

ветер – *W*;

A₁ – указатель географического района ICAO;

A₂ – указатель стандартного срока действия прогноза:

D – 18 часов, E – 24 часа.

ii – указатель уровня: для карт IS – 85 – 01 (уровень в десятках гектопаскалей), для карт SIGWX указывается слой: 06 – FL250 – FL630, 15 – FL100 – FL450;

CCCC – международный четырехбуквенный индекс центра, составившего прогноз (ВЦЗП Лондон – EGRR);

YYGGgg – дата, часы, минуты стандартного срока наблюдения, по данным которого составлена карта.

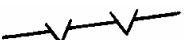
На бланках прогностических карт указывается следующая картографическая информация:

- основные географические ориентиры, такие как: береговые линии, внутренние моря, крупные озера, очерченные схематическими контурными линиями;
- меридианы и параллели географической сетки координат, изображаемые пунктирными линиями через каждые 10° широты и долготы. Точки располагаются с интервалом в 1° . Значения широты и долготы указываются на полях и в различных точках по площади карты;
- основные аэрорадиометры, обозначенные точкой и первой буквой названия города, который обслуживается данным аэрорадиометром.

Прогностические карты особых явлений погоды для высоких и средних уровней полета (формы SWH, SWM, SWM/SWH) выдаются летному составу в качестве прогноза погоды по маршруту при полетах на эшелонах выше FL100 (выше 3 км) и используются для полетов ВС, следующих из одного региона ICAO в другой.

На этих картах указывают информацию о следующих явлениях:

а) тропический циклон  при условии, что ожидаемое максимальное значение средней скорости приземного ветра за 10 мин. составляет или превышает 63 км/ч (34 узла);

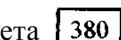
б) линии сильных шквалов ;

в) умеренная или сильная турбулентность () при наличии облаков или при ясном небе (CAT) и слой (нижняя и верхняя границы), в котором она ожидается;

г) умеренное или сильное обледенение () и слой, в котором оно ожидается;

д) песчаная/пыльная буря на обширном пространстве 

е) кучево-дождевые облака (количество, НГО, ВГО), связанные с грозами  и явлениями, указанными в пунктах а)-д);

ж) высота тропопаузы в единицах эшелона полета  380

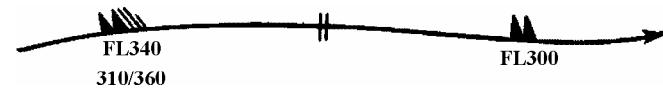


Высокая
тропопауза



Низкая
тропопауза

з) струйные течения (СТ) – направление, максимальная скорость, высота оси и вертикальная мощность СТ.



 50 узлов (100 км/ч)

 10 узлов (20 км/ч)

 5 узлов (10 км/ч)

Двойная вертикальная черта обозначает изменение высоты оси СТ на 1000 м (3000 футов) и более и/или скорости максимального ветра на 40 км/ч (20 узлов) и более. Вертикальная мощность СТ указана (в эшелонах) ниже эшелона, определяющего высоту оси СТ. Например, запись 310/360 ниже FL340 означает, что нижняя граница СТ находится на FL310, а верхняя – FL360;

- и) места вулканических извержений, сопровождающихся появлением облаков пепла. Символ вулканического извержения  наносится на карту в месте расположения вулкана. На свободном поле карты указывается символ вулканического извержения, название вулкана, его международный номер, координаты (широта и долгота), дата и время первого извержения, а также напоминание пользователям о необходимости руководствоваться информацией SIGMET, NOTAM, ASHTAM, выпущенных для данного района;
- к) места аварийного выброса радиоактивных материалов в атмосферу. Символ радиоактивности  наносится на карту в месте аварии. На свободном поле карты указывается символ радиоактивности, координаты места аварии, дата и время аварии и напоминание пользователям ознакомиться с NOTAM для соответствующего района.

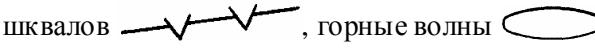
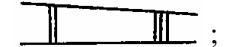
Прогностические карты особых явлений погоды для низких уровней полета (образец SWL) составляются для метеорологического обеспечения полетов на малых высотах, в том числе для полетов по ПВП (правилам визуальных полетов), и выдаются летному составу в качестве прогноза погоды по маршруту при полетах на эшелонах ниже FL100 (ниже 3000 м).

На картах SWL указывается следующая информация:

1. Центры циклонов и антициклонов. Они обозначаются крестиками и буквами “**L**” и “**H**” соответственно. Рядом с буквами указывается давление в центре данной барической системы, приведенное к уровню моря в гектопаскалях. Стрелками с цифрами на концах указывается направление и скорость их ожидаемого перемещения.

Например:



2. АФ, направление и скорость их ожидаемого перемещения и зоны конвергенции ;
3. Тропические циклоны , грозы , линии шквалов , горные волны ;
4. Внутритропические зоны конвергенции ;
5. Умеренная и сильная турбулентность, обледенение ВС любой интенсивности (, , ) и слои, в которых эти явления ожидаются;
6. Все явления погоды, ухудшающие видимость до значений менее 5000 м:
 -  – песчаная или пыльная буря
 -  – сильная песчаная или пыльная мгла
 -  – туман
 -  – дымка
 -  – ливневые осадки
 -  – град
 -  – снег
 -  – дождь
 -  – морося
 -  – переохлажденные (замерзающие) осадки и т.д.;
7. Облачность, связанная с особыми явлениями погоды (количество, форма, НГО, ВГО);
8. Видимость у земли, когда она менее 5000 м;
9. Высота нулевой изотермы: **0°C : 130** ;
10. Состояние моря и общая высота волн в футах или в метрах **10** ;
11. Температура поверхности моря в градусах Цельсия **(18)** ;

12. Преобладающий (по площади/территории) сильный приземный ветер . Этот символ указывается на карте, если средняя скорость приземного ветра на обширном пространстве больше 60 км/ч (30 узлов);

13. Горное затмение ;

14. Места вулканических извержений, сопровождающихся появлением облаков пепла ;

15. Места аварийного выброса радиоактивных материалов в атмосферу .

На картах особых явлений погоды для всех уровней полета (SWH, SWM, SWL):

1. Зоны с однородными особыми явлениями погоды выделяются волнистой линией .

2. Зоны турбулентности при ясном небе выделяются прерывистой линией и маркируются порядковым номером, помещенным внутри квадрата. Содержание зоны, согласно номеру, указывается на свободном месте карты .

3. Количество облачности, исключая кучево-дождевые облака, указывается следующими буквенными сокращениями:

- SKC – sky clear – ясно;
- FEW – few – (мало) незначительная облачность (1...2 октанта);
- SCT – scattered – отдельная (рассеянная) облачность (3...4 октанта);
- BKN – broken – значительная (разорванная) облачность (5...7 октантов);
- OVC – overcast – сплошная облачность (8 октантов);

Количество кучево-дождевых (*Cb*) облаков указывается следующим образом:

- FRQ – frequent – частые (*Cb* с небольшим разделением или без разделения);
- OCNL – occasional – редкие, случайные (достаточно разделенные *Cb*);
- ISOL – isolated – изолированные (отдельные *Cb*);

- EMBD – embedded – замаскированные (*Cb* облака содержатся в других облаках или скрыты мглой).

4. Форма облаков – указывается международными буквенными сокращениями:

- Ci – перистые – cirrus;
- Cc – перисто-кучевые – cirrocumulus;
- Cs – перисто-слоистые – cirostratus;
- Ac – высоко-кучевые – altocumulus;
- As – высоко-слоистые – altostratus;
- St – слоистые – stratus;
- Sc – слоисто-кучевые – stratocumulus;
- Ns – слоисто-дождевые – nimbostratus;
- Cu – кучевые – cumulus;
- Cb – кучево-дождевые – cumulonimbus;
- LYR – layered – многослойная облачность.
- CUF – облака кучевых форм – cumuliform;
- STF – облака слоистых форм – stratiform.

5. Высота облачности, а также слои обледенения и турбулентности даются с указанием нижней и верхней границ (в виде дроби). При этом верхняя граница указывается над нижней. Все высоты отсчитываются от среднего уровня моря.

6. Если нижняя (верхняя) граница облаков или слоя, в котором прогнозируется обледенение, турбулентность, ожидается ниже принятого нижнего уровня (выше принятого верхнего уровня), то она указывается – XXX.

Например:

- для карты SWH (FL250 – FL630): $FRQ\ Cb \frac{360}{XXX}$ – частые кучево-дождевые облака, НГО ниже эшелона 250, ВГО на эшелоне 360.

- для карты SWL (ниже FL100): $\Psi \frac{XXX}{050}$ – умеренное обледенение, нижний уровень обледенения на эшелоне 50, верхний уровень выше эшелона 100.

7. Сокращение “*Cb*” или условное обозначение грозы () на картах особых явлений погоды означает, что в данном районе ожидаются все явления погоды, обычно связанные с наличием

кучево-дождевых облаков или грозы, а именно: умеренное или сильное обледенение ВС, умеренная или сильная турбулентность и град.

В Украине в практике метеорологического обеспечения полетов используются авиационные карты погоды под названием QGME93 и QGMG93, где:

- Q – графическая информация региональная;
- G – особые явления погоды;
- M – соответствующий географический район;
- E – 12-ти часовой прогноз;
- G – 18-ти часовой прогноз;
- 93 – уровень не определен (карта составляется не для конкретного уровня, а для слоя атмосферы).

Эти карты представляют собой прогноз условий погоды для слоя атмосферы от земли до 400 гПа для территории Украины.

Украинский авиационный метеорологический центр обеспечивает выпуск таких карт 4 раза в сутки в 20.00, 01.00, 08.00, 13.00 UTC, на фиксированные сроки 00.00, 06.00, 12.00 и 18.00 UTC соответственно. Эти карты действительны от момента поступления (изготовления) до фиксированного срока плюс 6 часов после фиксированного срока.

При составлении карт используется полярная стереографическая проекция, масштаб карты 1:7500000.

Содержание карт соответствует содержанию международных прогностических карт формы SWL, но все высоты на этих картах указываются над уровнем земной поверхности.

Прогностические карты ветра и температуры воздуха на высотах для стандартных изобарических поверхностей (форма IS) содержат информацию об ожидаемом ветре и температуре воздуха на различных высотах и выдаются летному составу в качестве прогноза ветра и температуры на эшелоне полета.

Карты ветра и температуры воздуха на высотах составляются для следующих изобарических поверхностей:

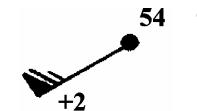
- 850 гПа FL050 сп. $H = 1,5$ км
- 700 гПа FL100 сп. $H = 3$ км
- 600 гПа FL140 сп. $H = 4$ км

- 500 гПа FL180 сп. $H = 5$ км
- 400 гПа FL240 сп. $H = 7$ км
- 300 гПа FL300 сп. $H = 9$ км
- 250 гПа FL340 сп. $H = 10$ км
- 200 гПа FL390 сп. $H = 12$ км
- 150 гПа FL450 сп. $H = 14$ км
- 100 гПа FL530 сп. $H = 16$ км

Эшелоны полета, для которых требуются карты ветра и температуры воздуха, определяются региональным аэронавигационным соглашением.

Данные о ветре наносятся на карты в виде стрелок с оперениями на широтно-долготной сетке с разрешением $2,5^\circ \times 5^\circ$: одно перо соответствует скорости ветра 10 узлов (20 км/ч), половина пера 5 узлов (10 км/ч), треугольник 50 узлов (100 км/ч).

Температура воздуха указывается в этих же узлах сетки в целых градусах Цельсия. Значение температуры может быть указано внутри кружка или без него, знак минус опускается. Положительная температура указывается с приставкой "PS" (плюс).

На прогностических картах ветра и температуры воздуха для FL390 (200 гПа) рядом с оперением стрелки указывается величина отклонения фактической температуры (t_ϕ) воздуха от температуры в СА (t_{CA}) $\Delta t = t_\phi - t_{CA}$ в целых градусах Цельсия

Ряд метеорологических центров в Европе в полетную метеодокументацию включают прогностические карты всех основных изобарических поверхностей, данные которых нужно использовать для учета ветра и температуры не только на крейсерском эшелоне, но и при снижении и наборе высоты.

11.14. ЗОНАЛЬНЫЕ ПРОГНОЗЫ ДЛЯ ПОЛЕТОВ НА МАЛЫХ ВЫСОТАХ – GAMET (General aviation forecast)

Для метеорологического обеспечения полетов ВС по маршрутам на низких уровнях для соответствующих районов полетной информации составляются зональные прогнозы в

формате прогностической карты SWL или в формате кода GAMET открытым текстом на английском языке с использованием сокращений и численных величин, принятых ICAO. Эти прогнозы составляются каждые 6 часов на период действия 6 часов с заблаговременностью не менее 1 часа до начала срока действия прогноза для слоя воздуха от поверхности земли до эшелона 100 или эшелона 150 в горных районах.

Эти прогнозы состоят из 2-х разделов:

Первый раздел – это прогноз явлений или условий погоды, которые представляют опасность для полетов на малых высотах (см. перечень явлений, требующих составления информации AIRMET). Эта часть прогноза GAMET используется для составления информации AIRMET. В конце первого раздела указываются сообщения SIGMET, которые составлены для данного района полетов или его субрайона и которые действительны в течение периода действия прогноза GAMET.

Второй раздел – это прогноз дополнительной информации, требующейся для полетов на малых высотах:

- положение центров барических систем, АФ, их ожидаемое перемещение и эволюция;
- ветер и температура воздуха на высотах 600 м (2000 ft), 1500 м (5000 ft) и 3000 м (10000 ft) над уровнем земли;
- облачность с нижней границей 300...3000 м (1000...10000 ft): количество, форма, высота нижней и верхней границ;
- высота нулевой изотермы;
- минимальное значение QNH в период действия прогноза;
- температура поверхности моря и состояние моря;
- местоположение извержения вулканов, которые образуют облака пепла и др.

Дополнительные элементы в раздел II включаются в соответствии с региональным аeronавигационным соглашением.

Элементы, уже вошедшие в сообщение SIGMET, не включаются в зональные прогнозы GAMET.

Если ни одно из явлений или условий погоды, представляющих опасность для полетов на малых высотах, не прогнозируется, то все пункты первого раздела в прогнозе GAMET заменяются термином – HAZARDOUS WX NIL (Hazardous – опасность).

Если опасные явления (условия) не предусмотрены прогнозом GAMET, но наблюдаются или ожидаются, то составляется соответствующая информация AIRMET. Указанная информация является дополнением к прогнозу GAMET и не требует составления корректива к нему.

Если опасные явления (условия) погоды предусматривались прогнозом GAMET, но не возникли в указанный срок или не ожидаются, или ожидаются меньшей интенсивности, составляется поправка GAMET AMD, изменяющая только соответствующую метеорологическую величину.

ОБРАЗЕЦ ЗОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА GAMET

YUCC GAMET VALID 220600/221200 YUDO –
AMSWELL FIR/2 BLW FL 100
SECN I
SFC WSPD: 10/12 65KMH
SFC VIS: 06/08 3000M BR N OF 51 DEG N
SIGWX: 11/12 ISOL TS
SIG CLD: 06/09 OVC 800/1100FT AGL N OF N51 10/12 ISOL TCU
1200/8000FT AGL
ICE: MOD FL050/080
TURB: MOD ABV FL090
SIGMETS APPLICABLE: 3,5
SECN II
PSYS: 06 L 1004 HPA N51.5 E10.0 MOV NE 25KT WKN
WND/T: 2000FT 270/70KMH PS03 5000FT 250/80KMH MS02 10000FT
240/85KMH MS11
CLD: BKN SC 2500/8000FT AGL
FZLVL: 3000FT AGL
MNM QNH: 1004 HPA
SEA: T15 HGT 5FT
VA: NIL

Содержание: Зональный прогноз для полетов на малых высотах (GAMET), составленный для субрайона 2 района полетной информации AMSWELL (YUCC), ниже эшелона полета 100, органом метеорологического слежения аэропорта DONLON (YUDO). Срок действия прогноза от 06.00 до 12.00 UTC 22 числа текущего месяца. (Все названия условные).

РАЗДЕЛ I.

Скорость приземного ветра: между 10.00 и 12.00 UTC

65 КМН.

Видимость у поверхности земли: между 06.00 и 08.00 UTC 3000 м к северу от 51° северной широты (вследствие дымки).

Особые явления погоды: между 11.00 и 12.00 UTC изолированные грозы без града.

Значительная облачность: между 06.00 и 09.00 UTC сплошная (8 октантов) с нижней границей 800 и верхней границей 1100 футов над уровнем земли к северу от 51° северной широты; между 10.00 и 12.00 UTC отдельные мощно-кучевые облака с нижней границей 1200 и верхней границей 8000 футов над уровнем земли.

Обледенение: умеренное между эшелонами полета 050 и 080.

Турбулентность: умеренная выше эшелона полета 090 (как минимум до эшелона полета 100).

Сообщения SIGMET: 3-е и 5-е сообщения SIGMET действительны в течение установленного срока действия и для соответствующего субрайона.

РАЗДЕЛ II.

Барические системы: в 06.00 UTC циклон с давлением в центре 1004 гПа находится в точке с координатами 51,5° северной широты и 10° восточной долготы. Циклон будет перемещаться в северо-восточном направлении со скоростью 25 узлов и заполняться.

Ветер и температура: на высоте 2000 футов над уровнем земли ветер 270° 70 км/ч, температура +3°C; на высоте 5000 футов над уровнем земли ветер 250° 80 км/ч, температура -2°C; на высоте 10000 футов над уровнем земли ветер 240° 85 км/ч, температура -11°C.

Облачность: значительная облачность (5...7 октантов) слоисто-кучевая, нижняя граница 2500, верхняя граница 8000 футов над уровнем земли.

Высота нулевой изотермы: 3000 футов над уровнем земли.

Минимальное значение QNH: 1004 гПа.

Mope: температура поверхности 15°C, состояние моря 5 футов.

Вулканический пепел: отсутствует.

11.15. ТАБЛИЦА ПРОГНОЗА УСЛОВИЙ ПОГОДЫ ПО МАРШРУТУ (НИЗКИЙ УРОВЕНЬ)

Форма ТА (таблица 11.3) используется для метеорологического обслуживания международных полетов на высотах 3050 м и ниже с аэродромов, где не имеется средств для обеспечения документацией в других формах (карты, форма GAMET). На бланках ТА все высоты указываются в метрах над уровнем земли (AGL), при необходимости – в метрах над средним уровнем моря (AMSL).

1. Характеристика синоптической ситуации (Characteristic of the synoptical situation)

В прогноз включается краткое изложение синоптической ситуации; для фронтов и барических образований указывается интенсивность, скорость и направление их перемещения.

Например: Active cold front Lvov to Shepetovka mov SE 50 КМН.

2. Участок полета (Zone)

При прогнозировании различных условий погоды по маршруту информация представляется для различных участков, обозначаемых широтой и/или долготой или географическими названиями, известными в международном масштабе.

3. Ветер и температура на высотах (Upper winds and temperatures)

Ветер и температура воздуха на высотах, по мере необходимости, указывается для каждого участка полета. Ветер и температура воздуха на самом нижнем уровне записывается на самой нижней строке, а данные для более высоких уровней – в возрастающем порядке выше. Ветер и температура воздуха, прогнозируемые для какого-либо уровня, представляют собой среднее значение для участка маршрута на этом уровне. При характеристике ветра сначала указывается направление ветра тремя цифрами (в истинных градусах), а затем после дробной черты – значение скорости в километрах в час. Значение температуры воздуха указывается двумя цифрами в целых градусах Цельсия. Положительная температура указывается с сокращением PS, отрицательная – с сокращением MS. Температура 0° указывается только 00.

Например: “600 м: 290/30PS03; 1500 м: 290/4000; 3000 м: 270/60MS08”.

Таблица 11.3. Таблица прогноза условий по маршруту (низкий уровень). Форма ТА

Дата: 21 сентября 2007 г.	Метеорологический орган					
Маршрут: Киев, Борисполь – Минск						
Срок действия прогноза: от 15.00 до 19.00 MCB						
Характеристика синоптической ситуации: Активный холодный фронт от Гомеля до Пинска движется на ЮВ со скоростью 50 км/ч						
Участок полета	Киев	N52.0	Минск			
Ветер на высотах 3000 м (в истинных градусах, км/ч)	250/90 1500 м AMSL	MS09 00	280/60 MS12 290/50 MS03			
Температура (градусы Цельсия)	600 м AMSL	230/60 PS06	290/40 PS03			
Облачность	OCNL EMBD CB BKN ST OVC SC AS LYR	$\frac{XXX}{300}$ $\frac{900}{150}$ $\frac{XXX}{600}$	SCT CU BKN SC BKN AC LYR $\frac{3000}{1000}$ $\frac{2000}{600}$ $\frac{XXX}{4000}$			
Видимость у поверхности земли	6000 м, местами 1000 м в ливневом дожде	5000 м в дымке				
Особые явления погоды	Умеренное OCNL Сильное обледенение Умеренная OCNL турбулентность	$\frac{XXX}{1500}$ $\frac{XXX}{300}$	Умеренное OCNL Сильное обледенение $\frac{XXX}{1000}$			
Высота изотермы 0°C AMSL	1500 м	1000 м				
Прогноз min давления QNH (гПа)	1004	1008				
Дополнительные сведения						

Составлено 14.00 MCB 21.09.2007 г. Синоптик Иванов.

4. Облачность (Cloud)

- а) количество облаков [за исключением кучево-дождевых (CB) и мощно-кучевых башенообразных (TCU) облаков] указывается с помощью сокращений: SKC, FEW, SCT, BKN, OVC;
- б) форма облаков указывается латинскими буквенными сокращениями;
- в) количество кучево-дождевых облаков и мощно-кучевых “башенообразных” облаков указывается следующим образом:
 - ISOL – зона отдельных облаков с максимальным пространственным охватом менее 50% района прогнозирования;
 - OCNL – зона отдельных облаков с максимальным пространственным охватом 50...75% района прогнозирования;
 - FRQ – зона активного развития кучево-дождевых облаков, в пределах которой разделение между соседними облаками небольшое или вообще отсутствует, с максимальным пространственным охватом более 75% района прогнозирования;
- г) высоты нижней и верхней границы облаков по маршруту полета указываются в метрах над средним уровнем моря. Всегда указывается высота самой нижней границы облаков.

Например: BKN 2000/300.

5. Видимость у поверхности земли (Surface visibility)

Указывается преобладающее значение метеорологической видимости у поверхности земли в метрах вдоль маршрута и ее минимальное значение с обозначением явлений погоды, которые ее ухудшают.

Для описания изменений видимости вдоль определенного участка маршрута полета могут использоваться термины “местами” (locally – LOC).

Например: 6000 m LOC 1000 m in SHRA.

6. Особые явления погоды (Significant weather)

Описание явлений погодыдается, когда это необходимо, для каждого участка маршрута. Описание охватывает особые явления погоды:

- а) требующие выпуска сообщения SIGMET, которые, как ожидается, могут повлиять на выполнение полетов на малых высотах;
- б) включенные в зональные прогнозы на малых высотах (GAMET).

Примечание:

Характеристика покрытия участка полета (маршрута) опасными явлениями погоды, связанными с кучево-дождовыми облаками (ливнями, грозами, градом), указывается сокращениями, которые применяются для прогноза кучево-дожевых облаков: ISOL, OCNL; FRQ; а также с использованием сокращения EMBD в случае, когда явления содержатся в облачных слоях и не могут быть четко выявлены.

Например: OCNL SHRA; ISOL EMBD TSGR.

7. Высота изотермы 0°C (Height of 0°C isotherm)

Если прогнозируется, что изотерма 0°C будет наблюдаться на нескольких уровнях, то указываются все уровни расположения изотермы 0°C. *Например:* 1500 м, 2100 м.

8. Прогноз минимального давления (Forecast lowest MSL pressure)

Самое низкое значение давления в гектопаскалях (гПа) на среднем уровне моря (QFF) прогнозируется, когда это необходимо, по каждому участку полета. *Например:* 1005 гПа.

В случае, когда прогнозируется минимальное давление на уровне моря по стандартной атмосфере, в таблице указывается сокращение QNH. *Например:* 1002 гПа QNH.

9. Дополнительная информация (Supplementary information)

Указывается дополнительная информация, включающая любую другую, ранее не сообщенную авиационную метеорологическую информацию, необходимую для полета. *Например:* AIREP special.

11.16. СОДЕРЖАНИЕ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ SIGMET, AIRMET

Информация **SIGMET** (Significant meteorological information), **AIRMET** (Airman's meteorological information) – это информация об опасных для авиации явлениях или условиях

погоды по маршруту полета, которые могут повлиять на безопасность полетов воздушных судов. Составляется органами метеорологического слежения открытым текстом с использованием утвержденных ICAO сокращений или в графическом формате и отражает **фактическое** или **ожидаемое возникновение**, а также предполагаемую эволюцию во времени и в пространстве определенных явлений или условий погоды.

Информация AIRMET составляется для слоя воздуха от поверхности земли до эшелона 100 или до эшелона 150 в горных районах.

Информация SIGMET, AIRMET может составляться как в целом для всей зоны ответственности диспетчерского органа ОВД, так и для отдельных ее частей.

Содержание и последовательность информации SIGMET, AIRMET

Первая строка:

1. Указатель местоположения (международный четырехбуквенный индекс) органа ОВД, обслуживающего FIR (UIR), для которого составлено сообщение SIGMET или AIRMET, например – YUDD.

2. Условное обозначение сообщения и порядковый номер – SIGMET или AIRMET.

Номер сообщения отражает количество сообщений SIGMET или AIRMET, составленных с 00.01 UTC текущих суток, по данному району полетной информации – указывается цифрами или комбинацией цифр и букв, например – SIGMET 2 или AIRMET NR2 (NR – number). Для сообщений SIGMET, AIRMET используются отдельные серии порядковых номеров.

3. Группы “дата – время” – период действия данного сообщения. Период действия указывается с помощью термина “**VALID**” – valid, после которого следуют группы “дата – время”, указывающие шестью цифрами начало и конец периода действия в UTC, разделенные знаком “/”, например – VALID 101200/101600.

Период действия сообщений SIGMET, AIRMET не должен превышать 4 часа. Сообщения SIGMET выпускаются не ранее, чем за 4 часа до начала периода действия. Специальные

сообщения SIGMET, касающиеся облака вулканического пепла или тропических циклонов, увеличивается до 6 часов.

4. Указатель местоположения (международный четырехбуквенный индекс) органа метеорологического слежения, составившего информацию SIGMET или AIRMET, за которым следует дефис для разделения преамбулы от текста сообщения, например – YUSO –

Последующие строки:

5. Название района полетной информации или диспетчерского района, для которого составляется сообщение SIGMET или AIRMET открытым текстом, например – SHANLON FIR/UIR.

6. Явление и описание явления или условия погоды, из-за которых составляется сообщение SIGMET или AIRMET. В каждое сообщение SIGMET, AIRMET включается только одно опасное явление или условие погоды. Например – EMBD TSGR.

7. Вид информации. Если явление уже наблюдается и ожидается его продолжение, используется сокращение – **OBS** (observed) и указывается время наблюдения в UTC. Если явление прогнозируется, но пока не наблюдается, используется сокращение – **FCST** (forecast).

8. Местоположение явления или условия погоды. Указывается часть FIR или координаты (широта и долгота и/или хорошо известные в международном плане пункты или географические названия и эшелон). Например – FCST TOP FL390 S of N54.6.

9. Ожидаемое перемещение – направление (одной или двумя буквами, которые используются для указания восьми румбов компаса) и скорость в **KMH** – kilometers per hour (км/ч) или в **KT** – knots (узлы).

10. Ожидаемое изменение интенсивности. Указывается с помощью сокращений: **INTSF** (intensify) – усиливается; **WKN** (weakening) – ослабевает; **NC** (no change) – не меняется.

Информация SIGMET, AIRMET аннулируется, если явление больше не наблюдается или когда не ожидается, что оно возникнет в данном районе.

Явления погоды, требующие составления SIGMET, и сокращения, используемые в этих сообщениях

Грозы – Thunderstorm

- скрытые – obscured
- замаскированные в облачности – embedded
- частые – frequent
- по линии шквала – squall line
- скрытые с градом – obscured with hail
- замаскированные в облачности с градом – embedded with hail
- частые с градом – frequent with hail
- по линии шквала с градом – squall line with hail

Турбулентность – Turbulence

- сильная турбулентность – severe turbulence

Обледенение – Icing

- сильное обледенение – severe icing
- сильное обледенение в зоне переохлажденного дождя – severe icing due to freezing rain

Горная волна – Mountain wave

- сильная горная волна – severe mountain wave

Сильная пыльная буря – Heavy duststorm

Сильная песчаная буря – Heavy sandstorm

Вулканический пепел – Volcanic ash

- Тропический циклон – Tropical cyclone – со средней за 10 минут скоростью приземного ветра 63 км/ч (34 узла) и более

Радиоактивное облако – Radioactive cloud

OBSC TS
EMBD TS
FRQ TS
SQL TS
OBSC TSGR
EMBD TSGR

FRQ TSGR
SQL TSGR

SEV TURB

SEV ICE
SEV ICE
(FZRA)

SEV MTW

HVY DS

HVY SS

VA
(+ название вулкана)

TC
(+ название циклона)

RDOACT CLD

Явления погоды, требующие составления AIRMET, и сокращения, используемые в этих сообщениях

Скорость приземного ветра –
Surface wind speed

- средняя скорость приземного ветра **на обширном пространстве** более 60 км/ч (более 30 узлов)

Видимость у поверхности земли –
Surface visibility

- видимость **на обширном пространстве** менее 5000 м и явление погоды, ухудшающее видимость

Грозы – Thunderstorm

- отдельные грозы **без града** – isolated thunderstorm without hail
- редкие (случайные) грозы **без града** – occasional thunderstorm without hail
- отдельные грозы с градом – isolated thunderstorm with hail
- редкие (случайные) грозы с градом – occasional thunderstorm with hail

Горное затемнение – Mountain obscuration

- горы закрыты – mountains obscured

Облачность – Cloud

- значительная (разорванная) или сплошная облачность **на обширном пространстве** с высотой нижней границы менее 300 м (1000 футов) над уровнем земли:
- значительная (разорванная) – broken
(+ высота НГО/ВГО и ед.измер.)
- сплошная – overcast
(+ высота НГО/ВГО и ед. измер.)

SFC WSPD
(+ скорость ветра и ед. измер.)

SFC VIS
(+ значение видимости и явление погоды)

ISOL TS

OCNL TS

ISOL TSGR

OCNL
TSGR

MT OBSC

– кучево-дождевые облака **без грозы**
Cumulonimbus (CB) clouds without thunderstorm:

- отдельные – isolated
- редкие (случайные) – occasional
- частые – frequent

– мощно-кучевые облака –
Towering cumulus (TCU):

- отдельные – isolated
- редкие (случайные) – occasional
- частые – frequent

Обледенение – icing

- умеренное обледенение – moderate icing
(за исключением обледенения, возникающего в конвективных облаках)

Турбулентность – turbulence

- умеренная турбулентность – moderate turbulence
(за исключением турбулентности, возникающей в конвективных облаках)

Горная волна – Mountain wave

- умеренная горная волна – moderate mountain wave

ISOL CB
OCNL CB
FRQ CB

ISOL TCU
OCNL TCU
FRQ TCU

MOD ICE

MOD TURB

MOD MTW

Примечание: Обширное пространство – это более 75% площади района, на котором наблюдается или ожидается указанное особое явление.

Аббревиатуры, используемые в информации SIGMET, AIRMET и в прогнозах GAMET, представлены в Приложении 7.

Пример сообщения SIGMET о грозах

YUDD (Шенлон) SIGMET2 VALID 101200/101600 YUDO (Донлон) – SHANLON FIR/UIR EMBD TSGR FCST S OF N54 TOP FL390 MOV E 10 KT WKN

Второе по счету (с 00.01 UTC) сообщение SIGMET, составленное для района полетной информации и верхнего района полетной информации Шенлон органом метеорологического слежения аэрордрома Донлон. Сообщение действительно от 12.00 до 16.00 UTC 10 числа текущего месяца. Ожидается грозы в

облачности с градом южнее 54° северной широты. Верхняя граница кучево-дождевых облаков на уровне полета 390. Ожидается, что грозы будут перемещаться на восток со скоростью 10 узлов, и их интенсивность будет уменьшаться.

Пример сообщения SIGMET о тропическом циклоне

YUCC (Амсвилл) SIGMET3 VALID 251600/252200 YUDO (Донлон) –
YUCC AMSWELL FIR TC GLORIA 0BS AT 1600Z N2706 W07306 CB
TOP FL500 WI 150 NM OF CENTRE MOV NW 10KT NC FCST 2200Z
TC CENTRE N2740 W07345

Третье по счету (с 00.01 UTC) сообщение SIGMET, составленное для района полетной информации Амсвилл органом метеорологического слежения аэродрома Донлон. Сообщение действительно с 16.00 UTC до 20.00 UTC 25 числа данного месяца. В 16.00 UTC наблюдался тропический циклон Глория в точке с координатами 27 градусов 06 минут северной широты и 73 градуса 06 минут западной долготы с вершинами кучево-дождевой облачности, достигающими эшелона полета 500 в пределах 150 морских миль от центра. Ожидается, что тропический циклон будет перемещаться в северо-западном направлении со скоростью 10 узлов и его интенсивность изменяться не будет; согласно прогнозу ожидается, что на 22.00 UTC тропический циклон будет находиться в месте с координатами 27 градусов 40 минут северной широты и 73 градуса 45 минут западной долготы.

Пример сообщения SIGMET о вулканическом пепле

YUDD (Шенлон) SIGMET 2 VALID 211100/211700 YUDO (Донлон) –
YUDD SHANLON FIR/UIR VA ERUPTION MT ASHVAL LOC S1500
E07348 VA CLD OBS AT 1100Z FL310/450 APRX 220KM BY 35KM
S1500 E07348 – S1530 E07642 MOV SE 65KMH FCST 1700Z VA CLD
APRX S1506 E07500 – S1518 E08112 – S1712 E08330 – S1824 E07836

Второе по счету (с 00.01 UTC) сообщение SIGMET, составленное для района полетной информации и верхнего района полетной информации Шенлон органом метеорологического слежения аэродрома Донлон. Сообщение действительно с 11.00 UTC до 17.00 UTC 21 числа данного месяца. Выброс вулканического пепла горой Ашваль, расположенной в месте с координатами 15 градусов южной широты и 73 градуса 48 минут

восточной долготы. В 11.00 UTC наблюдалось облако вулканического пепла между эшелонами полета 310 и 450 на площади размерами приблизительно 220 км на 35 км между 15 градусами южной широты и 73 градусами 48 минутами восточной долготы и 15 градусами 30 минутами южной широты и 76 градусами 42 минутами восточной долготы. Ожидается, что облако вулканического пепла будет перемещаться в юго-восточном направлении со скоростью 65 километров в час. Согласно прогнозу облако вулканического пепла на 17.00 UTC будет находиться приблизительно в районе, ограниченном точками: 15 градусов 6 минут южной широты и 75 градусов восточной долготы, 15 градусов 18 минут южной широты и 81 градус 12 минут восточной долготы, 17 градусов 12 минут южной широты и 83 градуса 30 минут восточной долготы, 18 градусов 24 минуты южной широты и 78 градусов 36 минут восточной долготы.

Пример сообщения SIGMET о сильной турбулентности

YUCC (Амсвилл) SIGMET 5 VALID 221215/221600 YUDO (Донлон) –
YUCC AMSWELL FIR SEV TURB OBS AT 1210Z YUSB FL250 MOV E
40KMH WKN

Пятое по счету (с 00.01 UTC) сообщение SIGMET, составленное для района полетной информации Амсвилл органом метеорологического слежения аэродрома Донлон. Сообщения действительно с 12.15 UTC до 16.00 UTC 22 числа данного месяца. В 12.10 UTC наблюдалась сильная турбулентность над аэродромом Сиби/Бисток (YUSB) на эшелоне полета 250; ожидается, что турбулентность будет перемещаться в восточном направлении со скоростью 40 километров в час и интенсивность ее будет уменьшаться.

Отмена сообщения SIGMET

YUDD (Шенлон) SIGMET3 VALID 101345/101600 YUDO (Донлон) –
SHANLON FIR/UIR CNL SIGMET2 101200/101600

Третье по счету (с 00.01 UTC) сообщение SIGMET, составленное для района полетной информации и верхнего района полетной информации Шенлон органом метеорологического слежения аэродрома Донлон на срок от 13.45 до 16.00 UTC 10 числа данного месяца, аннулирует (отменяет) SIGMET2 с периодом действия от 12.00 до 16.00 UTC 10 числа текущего месяца.

Пример сообщения AIRMET о сплошной облачности

YUCC (Амсвилл) AIRMET NR1 VALID 221215/221600 YUDO (Донлон) –
AMSWELL FIR OVC CLD 150/900 M OBS AT1210 IN S SW PARTS OF
YUCC FIR STNR INTSF

Первое по счету (с 00.01 UTC) сообщение AIRMET, составленное для района полетной информации Амсвилл органом метеорологического слежения аэрордома Донлон. Сообщение действительно от 12.15 до 16.00 UTC 22 числа текущего месяца. В 12.10 UTC на большой территории в южной и юго-западной частях района полетной информации Амсвилл наблюдается сплошная облачность с НГО = 150 м и ВГО = 900 м над уровнем земли. Ожидается, что зоны с низкой облачностью будут стационарными (не будут перемещаться) и высота НГО будет понижаться.

Пример сообщения AIRMET об умеренной горной волне

YUCC (Амсвилл) AIRMET 2 VALID 221215/221600 YUDO (Донлон) –
AMSWELL FIR MOD MTW OBS AT 1205Z AND FCST N48 E10 FL080
STNR NC

Второе по счету (с 00.01 UTC) сообщение AIRMET, составленное для района полетной информации Амсвилл органом метеорологического слежения аэрордома Донлон. Сообщение действительно с 12.15 UTC до 16.00 UTC 22 числа данного месяца. В 12.05 UTC наблюдалась умеренная горная волна в пункте с координатами 48 градусов северной широты и 10 градусов восточной долготы на эшелоне полета 080. Ожидается, что горная волна останется неподвижной и ее интенсивность изменяться не будет.

Отмена сообщения AIRMET

YUCC (Амсвилл) AIRMET NR2 VALID 221405/221600 YUDO (Донлон) –
AMSWELL FIR CNL AIRMET NR1 221215/221600

Второе по счету (с 00.01UTC) сообщение AIRMET, составленное для района полетной информации Амсвилл органом метеорологического слежения аэрордома Донлон на срок от 14.05 до 16.00 UTC 22 числа текущего месяца, аннулирует (отменяет) AIRMET NR1 с периодом действия от 12.15 до 16.00 UTC 22 числа данного месяца.

В приведенных примерах все названия условные.

Примеры информации SIGMET и AIRMET представлены в Приложении 8.

11.17. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ПО АЭРОДРОМУ

(Aerodrome warnings)

Предупреждения по аэрордому – это краткая информация о метеорологических условиях, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на ВС на земле, в том числе на ВС на местах стоянки, а также на аэрордомное оборудование и технические средства обеспечения полетов.

Они составляются на период не более 6 часов открытым текстом на русском или английском (для автоматизированных систем наблюдений) языке в связи с фактическим или ожидаемым возникновением одного или нескольких нижеуказанных явлений погоды:

- тропического циклона;
- грозы;
- града;
- снега (включая ожидаемое или наблюдаемое накопление снега);
- замерзающих осадков;
- инея или изморози;
- песчаной бури или пыльной бури;
- поднимающегося песка или пыли;
- сильного приземного ветра и порывов;
- шквала;
- мороза;
- вулканического пепла;
- цунами;
- других явлений, согласованных на локальном уровне.

В тех случаях, когда для выпуска предупреждений по аэрордому необходимы количественные критерии, например, ожидаемая максимальная скорость ветра или ожидаемая общая высота снежного покрова, такие критерии устанавливаются по согласованию между метеорологическим органом и теми, кто пользуется предупреждениями.

Предупреждения по аэродрому направляются эксплуатантам, аэродромным службам и другим заинтересованным органам в соответствии с локальной договоренностью.

11.18. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА *(Wind shear warnings)*

Предупреждения о сдвиге ветра – это краткая информация о наблюдаемом или ожидаемом сдвиге ветра, который может оказаться неблагоприятное воздействие на ВС на траектории захода на посадку или взлета, или при заходе на посадку по кругу в пределах между уровнем ВПП и высотой 500 м (1600 футов) над этим уровнем, или на ВС на ВПП во время послепосадочного пробега или разбега при взлете.

Предупреждения о сдвиге ветра составляются открытым текстом принятymi сокращениями и автоматически отменяются после окончания 30-минутного периода с момента выпуска, если не поступает новая информация, подтверждающая наличие сдвига ветра.

Например:

WS WRNG SURFACE WIND 320/20KMH WIND AT 60M
360/50KMH IN APCH

- WS (wind shear) – сдвиг ветра;
- WRNG (warning) – предупреждение;
- IN APCH (in approach) – заход на посадку.

Предупреждение о сдвиге ветра: приземный ветер 320° 20 км/ч, ветер на высоте 60 м в зоне захода на посадку – 360° 50 км/ч.

Если для подготовки предупреждения о сдвиге ветра используется донесение с борта ВС, оно включается в текст предупреждения без изменения с указанием типа ВС и времени наблюдения.

Например:

WS WRNG B707 REPORTED MOD WS IN APCH RWY34
AT1510

- RWY (run way) – ВПП

Предупреждение о сдвиге ветра: в 15.10 UTC с борта воздушного судна Боинг 707 получено сообщение об умеренном сдвиге ветра в зоне захода на посадку на ВПП 34.

На аэродромах, где используется автоматизированное наземное оборудование для дистанционного зондирования или обнаружения сдвига ветра, оповещения о сдвиге ветра содержат краткую информацию об изменении встречного/попутного ветра на 30 км/ч (15 узлов) или более и обновляются не реже одного раза в минуту. Эти оповещения аннулируются после того, как величина изменения встречного/попутного ветра становится менее 30 км/ч (15 узлов).

Если это практически возможно такие оповещения увязываются с конкретными участками ВПП и расстояниями вдоль траектории захода на посадку или траектории взлета в соответствии с договоренностью между метеорологическим полномочным органом, соответствующим полномочным органом ОВД и заинтересованными эксплуатантами.

11.19. СЛУЖБА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА МЕЖДУНАРОДНЫХ АВИАТРАССАХ

Реакцией ICAO и BWO на проблему влияния вулканического пепла на выполнение полетов стало создание в рамках региональных аeronавигационных соглашений Консультативных центров по вулканическому пеплу (Volcanic ash advisory center – VAAC). Эти центры работают круглосуточно и решают следующие задачи:

1. Следование за данными спутников, находящихся на геостационарных и полярных орбитах, в целях определения наличия и мощности “облака” вулканического пепла в атмосфере в соответствующем районе.
2. Прогнозирование траектории движения “облака” вулканического пепла.
3. Выпуск консультативной информации относительно мощности и прогнозируемого перемещения “облака” вулканического пепла для органов метеорологического

слежения, районных диспетчерских центров, центров зональных прогнозов, международных банков данных ОРМЕТ и других заинтересованных потребителей.

Консультативные сообщения о вулканическом пепле включают следующую информацию в указанном ниже порядке:

- тип сообщения;
- время составления (год, месяц, день, время UTC или день, месяц, год, время UTC);
- название VAAC;
- название вулкана;
- метеоположение (координаты) вулкана в градусах и минутах;
- государство или регион, над которым находится облако пепла;
- высота вулкана;
- консультативный номер сообщения;
- источник информации;
- подробная информация об извержении;
- прогноз высоты и местоположения облака пепла (+ 6 час);
- прогноз высоты и местоположения облака пепла (+ 12 час);
- прогноз высоты и местоположения облака пепла (+ 18 час);
- следующее консультативное сообщение (год, месяц, день, время UTC или день, месяц, год, время UTC);
- примечание (при необходимости).

Договаривающиеся государства, имеющие отдельные вулканические обсерватории и осуществляющие мониторинг за действующими вулканами, обеспечивают оперативную передачу информации об особой вулканической деятельности, предшествующей извержению, вулканическом извержении и/или выбросе вулканического пепла в атмосферу в адрес соответствующих районных диспетчерских центров, органов метеорологического слежения и VAAC. Под вулканической деятельностью, предшествующей извержению, понимают необычную и/или усиливающуюся вулканическую деятельность, которая может предвещать вулканическое извержение.

11.20. ОПЕРАТИВНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ (*Operational meteorological information*)

Оперативная метеорологическая информация (ОРМЕТ) в буквенно-цифровой форме передается средствами AFTN (сеть авиационной фиксированной электросвязи) в виде бюллетеней. Каждый бюллетень содержит одну или несколько сводок фактической погоды, прогнозов или других видов информации и соответствующий заголовок. В каждом конкретном бюллетене указывается информация только одного типа.

Заголовок метеорологического бюллетеня состоит из одной строки и включает следующие три группы:

- a) Тип информации – четыре буквы и одна или две цифры:
 - первая и вторая буквы – условное обозначение сводки, применяемое в ICAO;
 - третья и четвертая буквы – географический указатель местоположения аэрордома;
 - цифры (одна или две) – номер бюллетеня.

Условные обозначения ОРМЕТ ICAO/WMO

- SA – Регулярная сводка погоды по аэрордому (METAR);
- SP – Специальная сводка погоды по аэрордому (SPECI);
- FC – Прогноз погоды по аэрордому с периодом действия 9..12 часов (TAF);
- FT – Прогноз погоды по аэрордому с периодом действия более 12 часов (TAF);
- WA – Информация AIRMET;
- WS – Информация SIGMET;
- WC – Информация SIGMET о тропическом циклоне;
- WV – Информация SIGMET об облаке вулканического пепла;
- FK – Консультативное сообщение о тропическом циклоне;
- FV – Консультативное сообщение о вулканическом пепле;
- UA – Донесение с борта BC (AIREP);
- FA – Зональные прогнозы погоды (ARFOR, GAMET);
- FU – Прогноз ветра и температуры воздуха на высотах;
- FR – Прогноз погоды по маршруту полета (ROFOR);

Географические указатели:

- UR – Украина;
- RA – Россия (азиатская часть);
- RS – Россия (европейская часть);
- BY – Белоруссия;
- UK – Великобритания;
- FR – Франция.

б) Международный четырехбуквенный индекс метеорологического органа, составившего бюллетень;

в) Группа “дата – время”. Эта группа состоит из шести цифр.

Первые две цифры – число текущего месяца, а последующие четыре – или время наблюдения, или время составления прогноза погоды, или время составления бюллетеня – часы и минуты UTC.

При необходимости в заголовке бюллетеня указывается четвертая группа, состоящая из трех букв, для обозначения задержанных (RRA), скорректированных (CCA) или измененных (AAA) бюллетеней. В случае необходимости дополнительной задержки, исправления или корректировки бюллетеня их следует обозначать RRB, RRC и т.д.; CCB, CCC и т.д.; AAB, AAC и т.д.

Если к моменту передачи бюллетеня информация (сводка, прогноз) аэродрома по каким-либо причинам не поступила, то после индекса этого аэродрома или индекса и предполагаемого периода действия прогноза указывается слово NIL – (nil) – ничего, ноль.

Пример: SAUR5 UKBB 150300

5-й бюллетень, содержащий регулярные сводки погоды по аэродромам Украины за 3.00 UTC 15-го числа текущего месяца. Метеорологический орган, составивший бюллетень – Борисполь (Киев).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Как часто проводятся наблюдения за погодой на метеорологических станциях?
2. В формате какого кода кодируются результаты наблюдений на метеорологических станциях?
3. Что такое METAR – Meteorological aviation routine weather report?

4. Что такое SPECI – aviation selected special weather report?
5. В каких случаях используется буквенное сокращение COR в сводках METAR (SPECI) и прогнозах TAF?
6. В каких случаях используется буквенное сокращение NIL в сводках METAR (SPECI) и прогнозах TAF?
7. В каких единицах указывается скорость ветра в сводках METAR (SPECI) и прогнозах TAF?
8. За какой период осредняется ветер в сводках METAR?
9. Какие значения характеристик ветра указываются в сводках METAR (SPECI)?
10. Какая видимость указывается в сводках METAR (SPECI)?
11. Как в сводках METAR указывается видимость 10 км и более?
12. В каких случаях в сводку METAR (SPECI) включается группа видимости на ВПП – RVR (runway visual range)?
13. В каких случаях перед значением видимости на ВПП в сводках METAR (SPECI) ставятся буквы M, P?
14. Что обозначают знаки + и – перед особыми явлениями и осадками в сводках METAR (SPECI) и прогнозах TAF?
15. Что обозначают буквенные сокращения DRSN, DRSA, DRDU в сводках METAR (SPECI) и прогнозах TAF?
16. Что обозначают буквенные сокращения BLSN, BLSA, BLDU в сводках METAR (SPECI) и прогнозах TAF?
17. Что обозначает буквенное сокращение UP в сводках METAR (SPECI)?
18. В каких случаях в сводки METAR и прогнозы TAF включается группа вертикальной видимости?
19. В каких случаях в сводки METAR и прогнозы TAF включается индикатор благоприятной погоды CAVOK (cloud and visibility o’key)?
20. Как в сводках METAR и прогнозах TAF указывается отрицательное значение температуры воздуха?
21. Какое атмосферное давление включается в сводки METAR (SPECI)?
22. Что обозначает буквенное сокращение RE в сводках METAR?
23. Что обозначает буквенное сокращение WS в сводках METAR?
24. Что обозначает буквенное сокращение VC в сводках METAR?
25. Что обозначает буквенное сокращение BECMG (becoming) в прогнозах на посадку TREND и прогнозах по аэродрому TAF?
26. Что обозначает буквенное сокращение TEMPO (temporary) в прогнозах на посадку TREND и прогнозах по аэродрому TAF?
27. Что обозначает буквенное сокращение NOSIG (no significant change) в прогнозах на посадку TREND?

28. Что обозначает буквенное сокращение NSW (no significant weather) в прогнозах на посадку TREND и прогнозах TAF?
29. В каких случаях в сводках METAR и прогнозах TAF указывается буквенное сокращение NSC (no significant cloud)?
30. Что обозначает буквенное сокращение NCD (no cloud detected) в сводках METAR (SPECI)?
31. Что обозначает буквенное сокращение SNOCLO в сводках METAR?
32. Что обозначает буквенное сокращение FM (from) в прогнозе на посадку TREND?
33. Что обозначает буквенное сокращение TL (till) в прогнозе на посадку TREND?
34. Что обозначает буквенное сокращение AT (at) в прогнозе на посадку TREND?
35. Что такое TAF – Terminal aerodrome forecast?
36. В каких случаях используется буквенное сокращение AMD в прогнозах TAF?
37. В каких случаях используется буквенное сокращение CNL в прогнозах TAF?
38. Что обозначает буквенное сокращение PROB (probability) в прогнозе TAF?
39. Какие прогнозы распространяются одновременно со сводкой METAR?
40. Что можно сказать о ветре, указанном в группе 09010G22KT сводки METAR?
41. Как указываются ливневые осадки в сводках METAR и прогнозах TAF?
42. Какие значения ветра прогнозируются по аэродрому в прогнозах TAF?
43. В каких единицах измерения может указываться атмосферное давление в сводках METAR, SPECI?
44. Что обозначает буквенное сокращение FZ в сводках METAR и прогнозах TAF?
45. Что указывается после значения температуры воздуха в сводках METAR?
46. Как раскодировать часть прогноза TAF FM150900 00000MPS CAVOK?
47. Как раскодировать часть прогноза TAF BECMG 1005/1007 TS?
48. Как раскодировать часть прогноза TAF TEMPO 2103/2109 TSRA?
49. Как раскодировать группу OVC010?
50. Какие метеорологические карты называются приземными картами погоды?
51. Какие приземные карты называются основными (кольцевыми) и как часто они составляются?
52. Каким образом данные о погоде наносятся на приземные карты?
53. В чем состоит первичный анализ (обработка) приземных карт погоды?
54. Что называется изаллобарами?
55. Как определяется направление перемещения циклона по теплому сектору?
56. Как определяется направление перемещения циклона по изаллобарической паре?
57. Как определяется направление перемещения антициклона по приземным картам?
58. В каких случаях циклоны (ложбины) углубляются?
59. В каких случаях циклоны (ложбины) заполняются?
60. В каких случаях антициклоны (гребни) усиливаются?
61. В каких случаях антициклоны (гребни) разрушаются?
62. Как изменяется погода при углублении циклонов (ложбин)?
63. Как изменяется погода при заполнении циклонов (ложбин)?
64. Как изменяется погода при усилении антициклонов (гребней)?
65. Как изменяется погода при разрушении антициклонов (гребней)?
66. В каких барических системах наблюдается самое низкое давление?
67. В каких барических системах наблюдается самое высокое давление?
68. Для чего предназначены карты барической топографии?
69. Какие бывают карты барической топографии?
70. От чего зависит высота изобарической поверхности?
71. Что называется изогипсами?
72. Для каких изобарических поверхностей составляются карты абсолютной топографии и какие слои воздуха они характеризуют?
73. Что называется ведущим потоком?
74. Каким образом по картам абсолютной топографии определяется направление и скорость перемещения воздушных масс, атмосферных фронтов и барических систем?
75. Каким образом по картам абсолютной топографии определяются зоны облачности?
76. Как по картам АТ определяется обледенение ВС?
77. Как по картам АТ определяются зоны болтанки?
78. По каким картам АТ определяется СТ?
79. Как по картам АТ определяется вертикальная мощность циклона (антициклона)?
80. Какие задачи по метеорологическому обеспечению полетов можно решить с помощью карт тро попауз?
81. Какие задачи по метеорологическому обеспечению полетов можно решить с помощью карт максимальных ветров?

82. Что называется изотахами?
83. Что называется прогнозом погоды?
84. Какие бывают прогнозы погоды по методам прогнозирования?
85. Какие бывают прогнозы погоды в зависимости от заблаговременности составления и сроков действия?
86. Какие бывают прогнозы погоды по форме составления?
87. Какие бывают прогнозы погоды по способам представления?
88. На какой период составляются прогнозы погоды по аэродрому?
89. Что обозначает буквенное сокращение FM в прогнозах по аэродрому?
90. Как часто составляются прогнозы по аэродрому с периодом действия менее 12 часов?
91. Как часто составляются прогнозы по аэродрому с периодом действия более 12 часов?
92. Для кого предназначены прогнозы для посадки?
93. Из каких составных частей состоит прогноз для посадки типа TREND, и какой период его действия?
94. Когда эксплуатантам и членам летного экипажа может предоставляться прогноз для взлета?
95. В качестве чего используются авиационные прогностические карты особых явлений погоды?
96. В качестве чего используются прогностические карты ветра и температуры воздуха на высотах?
97. Какие явления погоды наносятся на авиационные карты особых явлений погоды?
98. В качестве чего выдаются летному составу прогностические карты особых явлений погоды для высоких уровней полета (образец SWH)?
99. В качестве чего выдаются летному составу прогностические карты особых явлений погоды для средних уровней полета (образец SWM)?
100. В качестве чего выдаются летному составу прогностические карты особых явлений погоды для низких уровней полета (образец SWL)?
101. Как указывается информация о ветре на картах ВСЗП?
102. На каких прогностических картах указывается местоположение струйного течения, и какие характеристики СТ указываются на этих картах?
103. Для полетов на каких высотах составляются прогнозы погоды в формате GAMET?
104. В каких случаях используется форма ТА (таблица прогноза условий погоды по маршруту)?
105. Что такое информация SIGMET?
106. Что такое информация AIRMET?
107. Для чего предназначена информация SIGMET и AIRMET?
108. Как кодируется сильная турбулентность в информации SIGMET?
109. Как кодируются частые грозы в информации SIGMET?
110. На что указывает сокращение FCST в информации SIGMET и AIRMET?
111. На что указывает сокращение OBS в информации SIGMET, AIRMET?
112. Каким образом в информации SIGMET указываются скрытые грозы?
113. Что обозначает сокращение WKN, INTSF, NC в информации SIGMET и AIRMET?
114. Что обозначает сокращение CNL в информации SIGMET и AIRMET?
115. Что обозначает номер сообщения SIGMET или AIRMET?
116. Что такое предупреждение по аэродрому?
117. Что такое предупреждение о сдвиге ветра?
118. Что такое оперативная метеорологическая информация – ОРМЕТ?
119. Из чего состоит заголовок оперативной метеорологической информации?
120. Что обозначают первая и вторая буквы заголовка метеорологического бюллетеня ОРМЕТ?
121. Что обозначают третья и четвертая буквы заголовка метеорологического бюллетеня ОРМЕТ?
122. Что обозначают цифры (цифра) в заголовке метеорологического бюллетеня ОРМЕТ?
123. Что обозначает сокращение WS в заголовке метеорологического бюллетеня ОРМЕТ?

ГЛАВА 12. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕТОВ

12.1. ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ОРГАНОВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Метеорологическое обеспечение полетов является составной частью аэронавигационного обслуживания.

Целью метеорологического обеспечения гражданской авиации является содействие безопасному, регулярному и эффективному осуществлению ее деятельности.

Для достижения этой цели эксплуатантам, членам летного экипажа, органам ОВД, администрации аэропортов и другим органам (далее – потребителям), связанным с выполнением, обслуживанием или планированием полетов, предоставляется следующая **метеорологическая информация**:

- фактическая погода;
- прогнозы погоды;
- информация SIGMET, AIRMET;
- предупреждения об опасных явлениях на аэродроме и предупреждения о сдвиге ветра;
- авиационно-климатические данные.

Стандарты и рекомендуемая практика метеорологического обеспечения определяются в системе координации и взаимодействия на таких уровнях:

- международном (ICAO, WMO, IATA);
- национальном (национальные органы метеорологической службы и гражданской авиации, в Украине – Госгидромет и Госавиаслужба);
- местном (аэродромный метеорологический орган, орган ОВД).

ICAO разрабатывает требования к метеорологическому обеспечению и определению мест, сроков, форм предоставления услуг. Основным документом является Приложение 3 к Конвенции о Международной гражданской авиации “Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации”.

WMO – определяет технические методы и средства, используемые для удовлетворения требований ICAO. Разрабатывает метеорологические коды, необходимые для передачи данных наблюдений, прогнозов и анализов погоды. Основным документом является “Технический регламент (Док № 49)”.

IATA (Международная ассоциация воздушного транспорта) разрабатывает концепцию развития системы связи, навигации, контроля и управления воздушным движением. Имеет статус наблюдателя на всех совещаниях ICAO.

В Украине Госавиаслужба определяет требования к метеорологическому обеспечению, а Госгидромет внедряет методы и практику метеорологического обеспечения в соответствии с требованиями основного документа – “Правила метеорологичного обеспечения авіації” (ПМЗА).

Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации осуществляется в рамках **всемирной системы зональных прогнозов (ВСЗП)** через **всемирные центры зональных прогнозов (ВЦЗП)**.

ВСЗП – система, обеспечивающая потребителей глобальными авиационными прогнозами метеоусловий на маршруте в цифровой форме.

ВЦЗП – метеорологические центры (Лондон Вашингтон) предназначены для:

- a) подготовки для всех требуемых уровней глобальных прогнозов в узлах регулярной сетки:
 - 1) ветра на высотах;
 - 2) температуры и влажности на высотах;
 - 3) геопотенциальной абсолютной высоты эшелонов полета;
 - 4) высоты тропопаузы в единицах эшелона полета и температуры тропопаузы;
 - 5) направления, скорости максимального ветра и его высоты в эшелонах полета;
- b) подготовки глобальных прогнозов особых явлений погоды (SIGWX) в цифровой форме;
- v) рассылки прогнозов, указанных в подпунктах а) и б), в цифровой форме метеорологическим полномочным органам и другим потребителям;

- г) приема информации об аварийном выбросе радиоактивных материалов в атмосферу от своего соответствующего регионального специализированного метеорологического центра (РСМЦ) WMO, ответственного за предоставление данных моделирования траектории их движения для принятия срочных мер, обусловленных радиологической обстановкой, в целях включения этой информации в прогнозы SIGWX;
- д) установления и поддержания контактов с консультативными центрами по вулканическому пеплу (VAAC) для обмена информацией о вулканической деятельности с целью координации включения информации о вулканических извержениях в прогнозы SIGWX.

Ответственными метеорологическими органами, осуществляющими метеорологическое обеспечение, являются:

- Аэродромный метеорологический орган (АМО);
- Орган метеорологического слежения (ОМС);
- Консультативный центр по тропическим циклонам (TCAC);
- Консультативный центр по вулканическому пеплу (VAAC).

АМО проводят метеорологическое обеспечение экипажей ВС, органов ОВД, администрации аэропортов и других органов, связанных с обеспечением авиации на аэродромах.

К АМО относят авиационные метеорологические центры (АМЦ), авиационные метеорологические станции гражданские (АМСГ) 1, 2 и 3 разрядов (с синоптической частью), АМСГ 4 разряда (без синоптической части), оперативные группы (ОГ) Госгидромета, метеорологические подразделения Вооруженных Сил Украины.

На аэродромах и посадочных площадках, где нет АМСГ, наблюдения за погодой обеспечивают специалисты ГА, прошедшие специальную подготовку и получившие допуск к проведению наблюдений и эксплуатации оборудования.

Прядок обеспечения пользователей на каждом конкретном аэродроме определяется *Инструкцией по метеорологическому обеспечению на аэродроме*, которая разрабатывается соответствующим метеорологическим органом по согласованию с органом ОВД и утверждается старшим авиационным начальником аэродрома.

АМО с синоптической частью выполняют все или некоторые (в зависимости от производственной необходимости) функции:

- проводят наблюдения за фактической погодой на аэродроме;
- составляют и/или получают прогнозы погоды и предупреждения по аэродрому, прогнозы по маршрутам (при необходимости);
- обеспечивают проведение метеорологических консультаций, подготовку и предоставление полетной документации экипажам воздушных судов и другим потребителям;
- проводят обмен метеоинформацией с другими метеорологическими органами;
- снабжают, связанные с ним органы обслуживания воздушного движения, службы аeronавигационной информации, метеорологического слежения получаемой информацией о вулканической деятельности, предшествующей извержению, вулканическом извержении или облаке вулканического пепла;
- изучают климатические условия аэродрома и района полетов, обеспечивают составление климатических описаний аэродрома и района аэродрома;
- передают информацию для передач ATIS и VOLMET и осуществляют вещание передач, которые не относятся к ATIS и VOLMET;
- обеспечивают проведение консультаций дежурной смены органа ОВД.

АМО без синоптической части выполняют такие функции:

- проводят наблюдения за фактической погодой на аэродроме и обеспечивают передачу метеорологических сводок потребителям;
- обеспечивают потребителей информацией, полученной от других метеорологических органов.

ОМС – специально выделенные метеорологические органы или АМО, которые выполняют их функции. Они проводят метеорологическое обеспечение районных диспетчерских центров (РДЦ), центра планирования использования воздушного пространства и регулирования воздушного движения, связанных с обеспечением авиации на маршрутах полетов.

ОМС выполняют такие функции:

- осуществляют слежение за метеорологическими условиями, которые влияют на выполнение полетов в пределах района полетной информации (РПИ), за метеорологическое обеспечение которого они несут ответственность;
- подготавливают информацию SIGMET, AIRMET и другую информацию по району, за который они несут ответственность;
- снабжают информацией SIGMET, AIRMET, и, по мере необходимости, прочей метеорологической информацией соответствующие органы ОВД;
- распространяют информацию SIGMET, AIRMET;
- снабжают связанные с ним ЦПИ/РДЦ, а также VAAC получаемой информацией о вулканической деятельности, предшествующей извержению, вулканическом извержении и облаке вулканического пепла, по которым еще не было выпущено сообщения SIGMET;
- снабжают связанные с ним ЦПИ/РДЦ, а также органы аэронавигационной информации получаемой информацией об аварийном выбросе радиоактивных материалов в атмосферу в районе, за которым они осуществляют наблюдение или в соседних районах. Эта информация содержит данные о местоположении, дате и времени аварии и прогнозируемой траектории движения радиоактивных материалов.

Дежурная смена АМО/ОМС в оперативном отношении подчиняется руководителю полетов.

VAAC – работает в рамках службы слежения за вулканической деятельностью и выпускает консультативную информацию о мощности и прогнозируемом перемещении облака вулканического пепла. При необходимости выпускает обновленную консультативную информацию для ОМС, ЦПИ, РДЦ и других VAAC по крайней мере через каждые 6 часов до тех пор, пока спутниковые данные не будут свидетельствовать об отсутствии “облака” вулканического пепла, а также не будут поступать донесения из данного района о наличии вулканического пепла и дальнейшем извержении вулкана.

TCAC следит за развитием тропических циклонов в районе своей ответственности и выпускает консультативную информацию о местоположении центра циклона, направлении и скорости его

перемещения, давлении в центре и максимальном приземном ветре вблизи центра. При необходимости выпускает обновленную консультативную информацию для ОМС в отношении каждого тропического циклона, по крайней мере, каждые 6 часов.

12.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И СВОДКИ

Аэродромные метеорологические органы обеспечивают проведение регулярных, специальных и других наблюдений за состоянием погоды на аэродроме. Наблюдения должны проводиться на пунктах, расположенных и оборудованных таким образом, чтобы обеспечить предоставление данных, характерных для участков летного поля, где требуется проводить наблюдения. При этом с места визуальных наблюдений за видимостью и явлениями погоды должен обеспечиваться достаточный обзор летного поля и наблюдатели должны предоставлять данные, которые являются репрезентативными для района, где проводятся наблюдения. Под репрезентативными подразумеваются наблюдения, в максимальной степени свободные от местных влияний и характеризующие состояние атмосферы в большом районе; наблюдения, показательные для общего синоптического положения. Состав и размещение метеорологических приборов и оборудования должны соответствовать требованиям Норм годности к эксплуатации гражданских аэродромов. Требования к точности измерений или наблюдений, желательной с точки зрения эксплуатации, представлены в таблице 12.1.

Регулярные наблюдения проводятся: в период полетов – через 30 мин. (в сроки 00 и 30 мин. каждого часа), при отсутствии полетов – через 1 час (в 00 мин. каждого часа). По согласованию между полномочными метеорологическими органами, полномочными органами ОВД и эксплуатантами наблюдения могут проводиться через 1 час независимо от наличия или отсутствия полетов.

Таблица 12.1. Точность измерений или наблюдений, желательная с точки зрения эксплуатации

Элемент, подлежащий наблюдению	Точность измерения или наблюдения, желательная с точки зрения эксплуатации *
<i>Средняя величина приземного ветра:</i> направление	$\pm 10^\circ$
<i>Скорость:</i> до 20 км/ч (10 узлов)	± 2 км/ч (1 узел)
свыше 20 км/ч (10 узлов)	$\pm 10\%$
Отклонения от средней величины приземного ветра	± 4 км/ч (2 узла) с учетом продольных и боковых составляющих
<i>Видимость:</i> до 600 м	± 50 м
600 м...1500 м	$\pm 10\%$
свыше 1500 м	$\pm 20\%$
<i>Дальность видимости на ВПП:</i> до 400 м	± 10 м
400 м...800 м	± 25 м
свыше 800 м	$\pm 10\%$
<i>Количество облаков</i>	± 1 октант
<i>Высота облаков:</i> до 100 м (330 футов)	± 10 м (33 фута)
свыше 100 м (330 футов)	$\pm 10\%$
<i>Температура воздуха и температура точки росы</i>	$\pm 1^\circ\text{C}$
<i>Величина давления (QNH, QFE)</i>	$\pm 0,5$ гПа

* Желательная с точки зрения эксплуатации точность не рассматривается в качестве эксплуатационного требования; под ней понимается намерение, высказанное эксплуатантами.

В аэропортах с некруглосуточной работой наблюдения проводятся только в период полетов. Наблюдения должны начинаться за 2 часа до начала полетов и проводиться в течение всего периода полетов, включая время, когда аэродром является запасным.

Сообщения о результатах регулярных наблюдений составляются в виде:

- а) регулярных сводок в кодовой форме METAR для распространения за пределы аэродрома и на данном аэродроме для передачи соответствующим органам ОВД и брифинг-офисам, а также для радиовещательных передач VOLMET;
- б) местных регулярных сводок открытым текстом в формате MET REPORT (предназначенных, в основном, для прилетающих и вылетающих ВС). На аэродромах, где используются автоматизированные системы метеорологических наблюдений, сводки MET REPORT составляются на английском языке с использованием сокращений, принятых ICAO. На аэродромах, где таких систем нет, местные регулярные сводки составляются в кодовой форме METAR, которые дополняются информацией об особых метеорологических явлениях в зонах захода на посадку и набора высоты открытым текстом.

Специальные наблюдения проводятся в дополнение к регулярным при ухудшении или улучшении условий погоды на аэродроме, когда одна или несколько метеорологических величин изменяются в соответствии с критериями, установленными Инструкцией по метеорологическому обеспечению полетов на этом аэродроме, с учетом рабочих посадочных минимумов аэродрома, а также по запросу диспетчера ОВД.

Сводки о результатах специальных наблюдений составляются в виде:

- а) специальных сводок SPECI для распространения за пределы аэродрома и на данном аэродроме для передачи соответствующим органам ОВД и брифинг-офисам, а также для радиовещательных передач VOLMET, кроме случаев, когда сводки METAR выпускаются с получасовым интервалом;

б) местных специальных сводок открытым текстом установленного формата SPECIAL (предназначенных, в основном, для прилегающих и вылетающих ВС). На аэродромах, где используются автоматизированные системы метеорологических наблюдений, сводки SPECIAL составляются на английском языке с использованием сокращений, принятых ICAO. На аэродромах, где таких систем нет, местные специальные сводки составляются в кодовой форме SPECI, которые дополняются информацией об особых метеорологических явлениях в зонах захода на посадку и набора высоты открытым текстом.

Специальные сводки об ухудшении условий погоды распространяются на аэродроме и за его пределы немедленно после наблюдения; об улучшении – при условии сохранения улучшения на протяжении 10 минут; по запросу диспетчера – не позднее, чем через 2 минуты.

Для производства метеорологических наблюдений используются различные автоматизированные системы. На аэродроме Борисполь метеорологические наблюдения за ветром, видимостью, высотой облаков, температурой воздуха и бетона, влажностью, давлением и количеством осадков проводятся дистанционно с помощью аэродромной информационно-измерительной системы сбора, анализа и распространения метеорологических данных MIDAS 600 финской фирмы Вайсала. Наблюдения за атмосферными явлениями, количеством и формой облаков осуществляются наблюдателем визуально. Предусмотрен ручной ввод этих данных в автоматизированную систему. Наблюдения за погодой в полном объеме осуществляются круглосуточно. Данные о фактической погоде обновляются на мониторах погоды ежеминутно, а данные о ветре – каждые 10 секунд. Сообщения о результатах регулярных наблюдений выпускаются в формате сводок METAR каждые 30 минут в сроки 00 и 30 минут каждого часа. Сообщения о специальных наблюдениях (SPECI) выпускаются в соответствии с установленными критериями.

12.3. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

На аэродромах, оборудованных метеорологическими радиолокаторами (МРЛ), проводятся наблюдения за пространственным распределением облачных образований, зон осадков, их перемещением и эволюцией.

В период полетов наблюдения проводятся ежечасно, в остальное время – через 3 часа. При обнаружении в зоне захода на посадку или набора высоты очагов с грозоопасными кучево-дождовыми облаками или интенсивными ливневыми осадками наблюдения в радиусе 100 км проводятся через 30 минут в режиме “Штурм”, а при автоматизированной обработке радиолокационной информации – через 10...15 минут.

Результаты ежечасных наблюдений оформляются в виде радиолокационных карт.

Указанная информация включается как дополнительная в местные регулярные и специальные сводки, а также сводки, передаваемые открытым текстом дежурному синоптику и диспетчерам ОВД.

На аэродромах, не оборудованных МРЛ, может использоваться информация МРЛ, расположенных на расстоянии до 50 км от аэродрома.

При наличии на аэродроме грозопеленгатора его данные могут использоваться для уточнения местоположения грозовых очагов.

12.4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ВЕТРОМ НА ВЫСОТАХ

Проводятся АМО в период полетов с помощью шаропилотов через каждые 3 часа, а также при необходимости. При этом определяются направление и скорость ветра на высоте 100 м и на уровне кругов полетов.

При отсутствии шаропилотных наблюдений на аэродроме могут использоваться данные аэрологических станций в радиусе до 10 км от аэродрома, а также данные с борта ВС.

12.5. ИНФОРМАЦИЯ, ПОЛУЧАЕМАЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ (МИСЗ)

Данные **МИСЗ** включают в себя информацию о типе, количестве и верхней границе облаков; о вертикальном распределении температуры и влажности; о ветре в верхних слоях атмосферы. При анализе спутниковых данных необходимо обращать внимание на эволюцию облачных систем, атмосферных фронтов и циклонов, на обнаружение зон турбулентности, низкой облачности и струйных течений; уточнение их географического положения. Эта информация принимается метеорологическими органами непосредственно с геостационарных спутников или спутников с полярной орбитой. Кроме этого, данная информация может быть получена при анализе карт нефанализа, т.е. карт схематического представления результатов дешифрования спутниковых фотографий облачности.

12.6. НАБЛЮДЕНИЯ И ДОНЕСЕНИЯ С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

С борта ВС проводятся следующие виды наблюдений:

- регулярные наблюдения на этапах набора высоты и полета по маршруту;
- специальные и другие нерегулярные наблюдения на любых этапах полета.

Данные наблюдений с борта ВС передаются по линии передачи данных “воздух-земля” или с помощью средств речевой связи. Речевая связь используется в тех случаях, когда линия передачи “воздух-земля” не обеспечивается или ее применение является нецелесообразным.

Во время полетов данные наблюдений с борта ВС передаются в момент осуществления наблюдений или, по возможности, сразу же после их проведения.

12.6.1. РЕГУЛЯРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ (ARP)

При использовании линии передачи данных “воздух-земля” и применении автоматического зависимого наблюдения (ADS) или вторичного обзорного радиолокатора (ВОРЛ) автоматизированные регулярные наблюдения проводятся каждые 15 минут на этапе полета по маршруту и каждые 30 секунд на этапе набора высоты в течение первых 10 минут полета.

ADS – это метод наблюдения, в соответствии с которым ВС автоматически представляют по линии передачи данных информацию, полученную от бортовых навигационных систем и систем определения местоположения, включая опознавательный индекс ВС, данные о его местоположении в четырех измерениях и, при необходимости, дополнительные данные.

При использовании речевой связи регулярные метеорологические наблюдения с борта ВС на этапе полета по маршруту проводятся в пунктах, где согласно соответствующим правилам ОВД необходимо посыпать донесение о местоположении ВС или которые находятся на расстояниях, наиболее близко соответствующих интервалам в 1 час полетного времени.

При использовании речевой связи экипаж воздушного судна освобождается от проведения регулярных наблюдений в тех случаях, когда:

- 1) ВС не оснащено оборудованием зональной навигации (RNAV);
- 2) продолжительность полета составляет 2 ч или менее;
- 3) ВС находится на расстоянии менее 1 часа полетного времени от следующего намеченного пункта посадки;
- 4) полет проходит на высоте ниже 1500 м (5000 футов).

12.6.2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ И ДРУГИЕ НЕРЕГУЛЯРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ (ARS)

Специальные наблюдения должны проводить все ВС, выполняющие полеты по международным авиамаршрутам, на всех этапах полета, когда наблюдаются или имеют место следующие метеоусловия:

- сильная турбулентность;
- сильное обледенение;
- сильная горная волна;
- грозы с градом или без града, скрытые, маскированные, обложные или по линии шквалов;
- сильные пыльные или песчаные бури;
- облака вулканического пепла;
- вулканическая деятельность, предшествующая извержению или вулканическое извержение.

Другие нерегулярные наблюдения с борта ВС проводятся в том случае, когда имеют место метеорологические условия, которые отличаются от перечисленных выше (например, сдвиг ветра), и которые, по мнению КВС, могут повлиять на безопасность полетов или заметно отразиться на эффективности полетов других ВС. Результаты этих наблюдений должны передаваться с использованием средств речевой связи соответствующему органу ОВД, по возможности, в кратчайшие сроки.

В донесениях с борта ВС о наблюдаемом сдвиге ветра на этапах набора высоты и захода на посадку следует сообщать тип ВС.

В тех случаях, когда в сводках фактической погоды или в прогнозах сообщается об условиях сдвига ветра на этапе набора высоты или захода на посадку, но фактически они не наблюдаются, КВС обязан, как можно быстрее, сообщить об этом соответствующему органу ОВД, за исключением тех случаев, когда он знает о том, что соответствующий орган ОВД уже уведомлен об этом ранее одним из ВС.

К нерегулярным наблюдениям относятся также наблюдения по запросу. Метеорологический орган, осуществляющий метеообеспечение международных полетов, может обратиться к экипажу ВС с запросом провести определенные наблюдения и передать полученные данные.

Органы ОВД после получения регулярных и специальных сообщений с борта ВС *немедленно* передают их своему ОМС и ВЦЗП.

12.6.3. СОДЕРЖАНИЕ ДОНЕСЕНИЙ С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

При использовании речевой связи регулярные и специальные донесения с борта воздушных судов содержат следующие данные:

Регулярные донесения с борта ВС

Указатель типа сообщения – ARP

Раздел 1. Информация о местоположении ВС

- Опознавательный индекс ВС.
- Местоположение или широта и долгота.
- Эшелон или абсолютная высота.
- Время.
- Следующее местоположение и время пролета.
- Последующая основная точка.

Раздел 2. Оперативная информация

- Расчетное время прибытия в пункт назначения.
- Максимальная продолжительность полета по запасу топлива.

Раздел 3. Метеорологическая информация

- Температура воздуха.
- Направление и скорость ветра.
- Трасса полета.
- Обледенение ВС.
- Влажность (если имеются данные).

Специальные донесения с борта ВС

Указатель типа сообщения – ARS

Раздел 1. Информация о местоположении ВС

- Опознавательный индекс ВС.
- Местоположение или широта и долгота.
- Эшелон или абсолютная высота.
- Время.

Раздел 3. Метеорологическая информация

- Условия, требующие передачи специального донесения с борта ВС (п. 12.6.2).

При использовании линии передачи данных “воздух-земля” и автоматически зависимого наблюдения (ADS) или режима S ВОРЛ **регулярные донесения с борта** содержат следующие элементы:

Указатель типа сообщения
Опознавательный индекс ВС

Блок данных 1

- Широта.
- Долгота.
- Уровень.
- Время.

Блок данных 2

- Направление ветра.
- Скорость ветра.
- Признак качества данных о ветре.
- Температура.
- Трасса (если имеются данные).
- Влажность (если имеются данные).

Специальные донесения с борта ВС содержат следующие элементы:

Указатель типа сообщения
Опознавательный индекс ВС

Блок данных 1 (аналогичный регулярным донесениям)

Блок данных 2 (аналогичный регулярным донесениям)

Блок данных 3

- Условия, требующие передачи специального донесения с борта (п. 12.6.2).

При использовании линии передачи данных “воздух-земля” информация передается в соответствии со следующими критериями.

Направление ветра указывается в истинных градусах, округленных до ближайшего целого градуса.

Скорость ветра указывается в км/ч или узлах с округлением до ближайших 2 км/ч (1 уз.).

Признак качества данных о ветре указывается как “0”, когда угол крена составляет менее 5°, и как 1, когда угол крена составляет 5° или более.

Температура сообщается с точностью до ближайшей десятой доли градуса Цельсия.

Информация о турбулентности передается в единицах кубического корня из скорости затухания вихря (EDR).

В регулярных донесениях с борта информация о турбулентности передается при полете по маршруту и относится к 15 минутному периоду, непосредственно предшествующему наблюдению. Отслеживаются среднее и максимальное значение турбулентности, а также время достижения максимального значения с точностью до ближайшей минуты. Средние и максимальные значения сообщаются в единицах корня из EDR. Информация о турбулентности передается на этапе набора высоты в течение первых десяти минут полета и относится к 30-секундному наблюдению. Отслеживаются максимальные значения турбулентности.

При этом турбулентность считается:

- a) **сильной**, когда максимальное значение кубического корня из EDR превышает 0,7;
- б) **умеренной**, когда максимальное значение кубического корня из EDR больше 0,4, но меньше или равно 0,7;
- в) **слабой**, когда максимальное значение кубического корня из EDR больше 0,1, но меньше или равно 0,4;
- г) **нулевой**, когда максимальное значение кубического корня из EDR меньше или равно 0,1.

Примечание. EDR представляет собой независимую от ВС меру турбулентности. Однако взаимосвязь между значением EDR и восприятием турбулентности представляет собой функцию типа и массы ВС, высоты, конфигурации и воздушной скорости ВС. Приведенные выше значения EDR характеризуют уровни воздействия для среднегабаритных транспортных ВС при типичных условиях полета по маршруту (т.е. абсолютная высота, воздушная скорость и вес).

В специальных донесениях с борта ВС информация о турбулентности передается на любом этапе полета, когда максимальное значение корня кубического из EDR превышает 0,7. Специальные донесения относятся к 1-минутному периоду, непосредственно предшествующему наблюдению. Отслеживаются

среднее и максимальное значения турбулентности. Специальные донесения передаются каждую минуту до тех пор, пока максимальные значения кубического корня из EDR не упадут ниже 0,7.

12.6.4. РЕГИСТРАЦИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С БОРТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Регулярные и специальные наблюдения с борта ВС регистрируются по форме **AIREP** – Aircraft report. Такая форма предоставляется экипажу эксплуатантом или включается в полетную документацию.

На бланке формы AIREP размещаются **3 таблицы**.

Первая таблица является инструкцией экипажу ВС по заполнению бланка AIREP или AIREP SPECIAL и передаче донесений с борта ВС по каналам речевой связи. В этой таблице указаны также принятые ICAO сокращения (таблица 12.2) для записи результатов регулярных и специальных наблюдений. Эти сокращения используются и на земле при передаче данных AIREP по телетайпу.

Вторая таблица (таблица 12.3) заполняется летными экипажами в полете во время проведения регулярных или специальных наблюдений с борта ВС.

Третья таблица предназначена для графического изображения условий погоды (заполняется по решению КВС).

Специальные наблюдения с борта ВС за вулканической деятельностью, предшествующей извержению; вулканическим извержением или облаком вулканического пепла регистрируются по специальной форме донесений с борта ВС о вулканической деятельности (**VAR** – Volcanic activity report).

Один экземпляр такой формы (таблицы 12.4 и 12.5) включается в полетную документацию, предназначенную для полетов по маршрутам, которые могут быть затронуты облаками вулканического пепла.

Таблица 12.2. Форма AIREP. Принятые ICAO сокращения для записи и передачи открытым текстом информации AIREP

Сокращения для записи	Передача открытым текстом	
	на английском языке	на русском языке
1	2	3
ARP	AIREP (air-report)	Регулярное наблюдение с борта ВС
ARS	AIREP SPECIAL (air-report special)	Специальное наблюдение с борта ВС
ABM	Abeam	На траверзе
ARR	Arrival	Прибытие
ASC	Climbing (ascending)	Набор высоты
BASE F	Base flight level	Нижняя граница на эшелоне
BKN	Broken	Значительная (облачность)
CAT	Clear air turbulence	Турбулентность при ясном небе
CB	Cumulonimbus (Si, Bi)	Кучево-дождевые (облака)
CNS	Continuous	Сплошные
DEP	Depart	Отправление
DES	Descending	Снижение
DS	Duststorm	Пыльная буря
EMBD	Embedded	Замаскированные
ETA	Estimated arrival	Расчетное время прибытия
F или FL	Flight level	Эшелон
FBL	Light (feeble)	Слабый
FC	Funnel cloud	Воронкообразное облако (смерч)
FRQ	Frequent	Частые
FT	Feet	Футы
FUEL	Endurance fuel	Запас топлива
FZRA	Freezing rain	Переохлажденный (замерзающий) дождь
GR	Hail	Град
HVY	Heavy	Сильный
ICE	Icing	Обледенение
INC	In clouds	В облаках

Продолжение таблицы 12.2.

1	2	3
ISOL	Isolated	Изолированные
KMH	Kilometers per hour	Километры в час
KT	Knots	Узлы
LV	Light variable	Слабый, неустойчивый
M	Metres	Метры
MEAN	Mean	Средний
MOD	Moderate	Умеренный
MS	Minus	Минус
MTW	Mountain wave	Горная волна
OCNL	Occasional	Редкие
OVC	Overcast	Сплошная (облачность)
PS	Plus	Плюс
RA	Rain	Дождь
RH	Relative humidity	Влажность в процентах
SCT	Scattered	Отдельная (облачность)
SEV	Severe	Сильная
SN	Snow	Снег
SS	Sandstorm	Песчаная буря
TOP F	Top flight level	Верхняя граница на эшелоне
TS	Thunderstorm without hail	Гроза без града
TSGR	Thunderstorm with hail	Гроза с градом
TURB	Turbulence	Турбулентность
VA	Pre-eruption volcanic activity or volcanic eruption	Вулканическая деятельность, предшествующая извержению или вулканическое извержение
VA CLD	Volcanic ash cloud	Облако вулканического пепла
VAR	Volcanic activity report	Сводка о вулканической деятельности
VRB	Variable	Неустойчивый
00000	Calm	Тихо, штиль

Таблица 12.3. Форма AIREP. Пример заполнения таблицы на бланке формы AIREP Company Aeroflot Flight № 351 (Авиакомпания Аэрофлот Рейс № 351)

Addressee (Адресат)	DAKAR	RECIFE	SAL
Message type designator (Индекс типа сообщения)	ARP	ARS	ARP
1 Aircraft identification (Опознавательный индекс ВС)	AFL 351	AFL 351	AFL 351
2. Position (Местоположение)	KODOS	0300S 530W	REBAL
3. Time (Время)	0825	0905	0930
4. Flight level or altitude (Эшелон или абсолютная высота полета)	FL 310	ASC FL 350	FL 350
5. Next position and time over (Следующее местоположение и время его пролета)	REBAL 0925	REBAL 0930	MORLU 1015
6. Ensuing significant point (Следующая основная точка)			
7. Estimated time of arrival (Расчетное время прибытия)			SAEZ 1330
8. Endurance fuel (Продолжительность полета по запасу топлива)	FUEL 0740	FUEL 0700	FUEL 0630
9. Air temperature (Температура воздуха)	MS 35		MS 40
10. Spot wind or mean wind and position (Ветер в данной точке или средний ветер и местоположение средней точки)	300/30KT MEAN 1000N 02040W		230/60KT
11. Turbulence (Турбулентность)	MOD TURB INC	SEV TURB	MOD CAT
12. Aircraft icing (Обледенение)			
13. Humidity (if available) [Влажность (если имеются данные)]			
14. Supplementary information (Дополнительная информация)	ISOL CB TOPS FL 330	FRQ CB TOPS FL 330	OCNL CB TOPS FL 370
Time transmitted (Время передачи)	0828	0907	0933

Таблица 12.4. Форма специального донесения с борта ВС о вулканической деятельности (Форма VAR)

Опознавательный индекс ВС
(согласно п.7 плана полета): Командир ВС:

Вылет из Дата Время UTC
Прибытие в Дата Время UTC

Раздел 1	Адресат	СПЕЦИАЛЬНОЕ ДОНЕСЕНИЕ С БОРТА ВС			
	1. Опознавательный индекс ВС				
	2. Местоположение				
	3. Время				
	4. Эшелон или абсолютная высота полета				
	5. ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЗАМЕЧЕНА	(Местоположение или пеленг и расстояние от воздушного судна)			
	6. Температура воздуха				
	7. Ветер в данной точке				
	8. Дополнительная информация	(Краткое описание вулканической деятельности, включающее распространение облака вулканического пепла в вертикальном и поперечном направлениях, его движение в горизонтальной плоскости, скорость нарастания и прочее при наличии данных)			
	Ниже следующая информация не предназначена для передачи по РТКС ОТМЕТИТЬ [✓] В СООТВЕТСТВУЮЩИХ КВАДРАТАХ				
	9. Плотность облака пепла	a) малая b) большая	[]	б) умеренная	[]
	10. Цвет облака пепла	a) белый b) темно-серый	[]	б) светло-серый г) черный	[]
	11. Извержение	a) непрерывное б) невидимое	[]	б) периодическое	[]
	12. Местоположение очага вулканической деятельности	a) вершина б) один кратер в) не наблюдался	[]	б) боковой склон г) несколько кратеров	[]
	13. Прочие наблюдаемые особенности извержения	a) молнии б) большие камни в) быстрое нарастание облака	[]	б) свечение г) выпадение пепла е) сведений нет	[]
	14. Воздействие на ВС	a) на средства связи б) на двигатели в) на лобовое стекло г) отсутствие воздействия	[]	б) на навигационные системы г) приемник статического давления е) на окна	[]
15. Прочие явления	a) турбулентность б) дым, испарения	[]	б) огни св.Эльма г) отложение пепла	[]	
16. Прочая информация	Прочая информация				

Таблица 12.5. Special air-report of volcanic activity (Model VAR)

Aircraft identification
Operator: (as per item 7 of flight plan): Pilot-in-command:

Dep. From Date Time UTC
Arr.at Date Time UTC

Section 1	Addressee	LIRR (Рим) AIREP SPECIAL ARS			
	1. Aircraft identification	AFL 515			
	2. Position	31N 014E			
	3. Time	10.15			
	4. Flight level or altitude	FL300			
	5. VOLCANIC ACTIVITY OBSERVED AT	Volcano erupted at 30 km to S			
	6. Air temperature	MS 48			
	7. Spot wind	260/60 KM/H			
8. Supplementary information	Ash cloud up to 7500 m, mov NE 20 KM/H				
The following information is not transmission by RTF TICK [✓] THE APPROPRIATE BOX					
Section 2	9. Density of ash cloud	a) wispy c) very dense	[]	b) moderate dense	[]
	10. Colour of ash cloud	a) white c) dark grey	[]	b) light grey d) black	[]
	11. Eruption	a) continuous c) not visible	[]	b) intermittent	[]
	12. Position if activity	a) summit c) single e) not observed	[]	b) side d) multiple	[]
	13. Other observed features of eruption	a) lightning c) large rocks e) mushrooming cloud	[]	b) glow d) ash fall out f) nil	[]
	14. Effect on aircraft	a) communications c) engines e) windscreens g) nil	[]	b) nav.systems d) pilot static f) windows	[]
	15. Other effects	a) turbulence c) fumes	[]	b) St.Elmos Fire d) ash deposits	[]
	16. Other information	(Add any information considered useful)			

Специальное донесение с борта воздушного судна в адрес Рима:
Аэрофлот, рейс 515 в 10 часов 15 минут UTC находится в точке с координатами 31° северной широты и 14° восточной долготы, на эшелоне 300. В 30 км к югу замечено извержение вулкана. Температура воздуха за бортом -48°C. Ветер 260° 60 км/ч. Облако вулканического пепла поднимается до высоты 7500 м, смещается на северо-восток со скоростью 20 км/ч.

Первый раздел формы VAR заполняется в полете и содержит информацию о вулканической деятельности, которая, по возможности, сразу же после наблюдения передается на землю в последовательности, указанной в форме VAR:

- Указатель типа сообщения – ARS.
- Опознавательный индекс ВС.
- Местоположение или координаты (широта и долгота).
- Время.
- Эшелон или абсолютная высота.
- Наблюдаемая вулканическая деятельность (Volcanic activity).
- Температура воздуха.
- Ветер (направление и скорость).
- Дополнительная информация.

Второй раздел формы VAR заполняется после полета и содержит информацию, полученную в результате наблюдения за облаком вулканического пепла или встречи с ним.

По прибытии воздушного судна на аэродром назначения заполненные формы AIREP и VAR **незамедлительно** передаются эксплуатантом или членом летного экипажа аэродромному метеорологическому органу. В качестве дополнения к информации, содержащейся в форме AIREP или VAR, один из членов летного экипажа должен представить устную информацию о метеорологических условиях, наблюдавшихся во время полета.

Полученные специальные донесения в формате AIREP SPECIAL **немедленно** направляются в Киевский банк авиационных метеоданных (БАМД) и ВЦЗП (Лондон). Специальные донесения в формате VAR **немедленно** направляются в VAAC Тулуза.

12.7. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАНТОВ И ЭКИПАЖЕЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

12.7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Эксплуатанты и члены летного экипажа снабжаются метеорологической информацией для:

- a) осуществления эксплуатантами предполетного планирования;

- b) осуществляется эксплуатантами перепланирования в полете с использованием системы централизованного руководства производством полетов;
- b) использования членами летного экипажа перед вылетами;
- c) воздушных судов, находящихся в полете.

Эта информация должна соответствовать времени, высоте, географической протяженности маршрута (района) полета и должна быть достаточной для полета до аэродрома первой посадки плюс время полета до запасного аэродрома. Обеспечение эксплуатантов и членов летных экипажей метеорологической информацией для самостоятельной подготовки и выполнения полета осуществляют АМО или брифинг-офисы, которые:

- a) получают и анализируют полноту и качество оперативной метеорологической информации;
- b) готовят и выдают экипажам полетную метеорологическую документацию;
- b) обеспечивают проведение метеорологической консультации по запросу экипажа.

Обеспечение информацией вылетающих экипажей ВС осуществляется на основании расписания полетов и/или заявок эксплуатантов, которые должны подаваться не позднее, чем за 3 часа до времени вылета.

12.7.2. МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКИПАЖЕЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПОЛЕТУ

Предполетная подготовка экипажей ВС состоит в самостоятельном изучении метеоусловий и получении необходимой информации о фактической и прогнозируемой погоде по маршруту полета и на аэродромах. При этом могут использоваться автоматизированные системы предполетной информации, специальные витрины или стенды, на которых представлена такая информация:

- a) прогнозы:
 - 1) ветра и температуры на высотах;
 - 2) влажности воздуха на высотах;
 - 3) геопотенциальной абсолютной высоты эшелонов полета;

- 4) высоты тропопаузы в единицах эшелона полета и температуры тропопаузы;
- 5) направления, скорости максимального ветра и его высоты в единицах эшелона полета;
- 6) явлений SIGWX;
- б) сообщений METAR и SPECI (включая прогнозы типа TREND (для аэродромов вылета, посадки и запасных);
- в) прогнозы TAF или измененные прогнозы TAF (для аэродромов вылета, посадки и запасных);
- г) прогнозы для взлета;
- д) информация SIGMET и соответствующие специальные сообщения с борта ВС, касающиеся всего маршрута;
- е) зональные прогнозы GAMET и/или зональные прогнозы для полетов на малых высотах в форме карты, подготовленной в дополнение к выпуску информации AIRMET, и информация AIRMET для полетов на малых высотах, которые относятся ко всему маршруту;
- ж) предупреждения по аэродрому для местного аэродрома;
- з) информация МРЛ;
- и) данные метеорологических спутников Земли;
- к) консультативная информация о вулканическом пепле и тропических циклонах по маршруту полета.

12.7.3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ КОНСУЛЬТАЦИЯ

Проводится по запросу экипажей ВС и/или персонала, связанного с выполнением полетов.

В том случае, когда на аэродроме консультация не проводится, она обеспечивается АМО по телефону или другим средствам связи.

При проведении консультации используются любые или все виды информации, указанные в 12.7.2.

После получения метеорологической информации перед вылетом член экипажа или персонал, связанный с выполнением полетов, расписывается в журнале (ведомости) регистрации о предоставлении ему метеоинформации для подготовки к вылету. При этом в журнале (ведомости) указывается номер рейса, время самостоятельной подготовки или метеоконсультации, время

вылета, номер(а) метеорологической документации, с которой ознакомился или получил экипаж. В случае задержки вылета более чем на 1 час, после получения новой метеодокументации, КВС делает повторную запись в журнале (ведомости) регистрации.

При наличии на аэродроме вылета автоматизированных систем предполетной подготовки, которые позволяют обеспечивать экипажи метеорологической документацией без участия синоптика, положения предыдущего абзаца не применяются.

12.7.4. ПОЛЕТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Полетная документация, выдаваемая экипажам ВС, должна содержать:

1. Прогнозы ветра и температуры на высотах.
2. Прогнозы особых явлений погоды (SIGWX).
3. Сообщения METAR и SPECI (включая прогнозы типа TREND) для аэродромов вылета, посадки и запасных.
4. Прогнозы TAF или измененные прогнозы TAF для аэродромов вылета, посадки и запасных.
5. Информацию SIGMET и соответствующие специальные сообщения с борта ВС, касающиеся всего маршрута.

И при необходимости:

6. Зональные прогнозы GAMET и/или зональные прогнозы для полетов на малых высотах в форме карты, подготовленной в дополнение к выпуску информации AIRMET, информация AIRMET для полетов на малых высотах, которые относятся ко всему маршруту.

При полетах продолжительностью **2 часа и менее** по договоренности с эксплуатантами документация выдается в ограниченном объеме, но во всех случаях, как минимум, указанная в пунктах 3,4,5 и при необходимости 6.

Для подготовки полетной документации используется информация ВЦЗП и оперативная метеоинформация ОРМЕТ. Документация выдается в виде карт, буквенно-цифровых сообщений ОРМЕТ или в форме таблицы ТА.

Комплект метеодокументации содержит карту особых явлений погоды для соответствующего уровня и карты прогнозов ветра и температуры воздуха на стандартных эшелонах полетов,

близких к высоте полета. Если прогностическая карта не охватывает весь маршрут полета, то на оставшуюся часть маршрута дополнительно выдается прогностическая карта смежного района или прогноз в форме таблицы ТА.

Копии полетной документации, выданной экипажам ВС, сохраняются 30 дней.

12.7.5. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКИПАЖЕЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ПОЛЕТЕ

Проводится через соответствующие органы ОВД, которые организуют и обеспечивают радиовещательные передачи ATIS, VOLMET и других типов.

ATIS – радиовещательная передача, предназначенная для оперативного обеспечения экипажей ВС местными регулярными и специальными сводками, а также необходимой аeronавигационной полетной информацией. Сообщение содержит сведения только одного аэродрома, передается непрерывно и обновляется не реже одного раза в 30 минут. Внеочередная запись сообщений на магнитофон предусматривается в случаях возникновения опасных явлений или условий погоды, а также при изменении рабочего направления или состояния ВПП и коэффициента сцепления. В Украине передачи ATIS проводятся на русском и английском языках в аэропортах Борисполь, Львов, Одесса, Симферополь.

VOLMET – регулярная радиовещательная передача сводок METAR и прогнозов на посадку по аэродромам (не более десяти), находящихся в радиусе 800 км от передающего центра. Запись информации проводится круглосуточно каждые 30 минут. В Украине вещание информации осуществляется открытым текстом на английском языке в пунктах Борисполь (Борисполь, Львов, Минск-2, Внуково, Шереметьево, Рига, Одесса, Кишинев), Львов (Львов, Ровно, Ивано-Франковск, Варшава, Будапешт, Братислава, Черновцы, Одесса), Днепропетровск (Днепропетровск, Харьков, Донецк, Ростов, Борисполь, Одесса, Симферополь, Киев), Симферополь (Симферополь, Одесса, Николаев, Днепропетровск, Стамбул, Сочи, Кривой Рог, Кишинев).

12.8. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРГАНОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

12.8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Метеорологическая информация органам ОВД предоставляется АМО и/или ОМС и подразделяется на такие типы:

- а) информация для выполнения функций, связанных с ОВД;
- б) информация для полетно-информационного обслуживания;
- в) информация для планирования использования воздушного пространства и регулирования воздушного движения.

Метеорологические органы обеспечивают соответствующие органы ОВД, по мере необходимости, такой оперативной метеорологической информацией:

- а) TAF, METAR, SPECI в кодовых формах WMO;
- б) AIRMET, AIREP SPECIAL, GAMET, MET REPORT, SPECIAL, SIGMET в форматах ICAO;
- в) консультативными сообщениями о вулканическом пепле и тропических циклонах, продукцией ВЦЗП в кодовых формах WMO или в форматах ICAO;
- г) предупреждениями по аэродрому, предупреждениями о сдвиге ветра, местными регулярными и специальными сводками, прогнозами ветра и температуры воздуха на высотах, прогнозами и фактическими данными об особых явлениях погоды в национальных формах;
- д) параметрами текущей погоды в режиме реального времени в формах отображения на погодных дисплеях систем автоматизированных метеорологических авиационных сообщений;
- е) информацией об опасных явлениях погоды по маршрутам полетов и аэросиноптическими материалами по данным наблюдений аэрологических, метеорологических станций и МРЛ в согласованных формах.

Конкретные виды метеоинформации, формы и способы ее доведения органам ОВД на аэродроме определяются Инструкцией по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме, а РДЦ – Инструкцией по метеорологическому обеспечению РДЦ/ВРДЦ.

12.8.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ КОНСУЛЬТАЦИЯ ДЕЖУРНОЙ СМЕНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

Метеорологический орган, по договоренности с соответствующим органом ОВД, обеспечивает проведение метеорологических консультаций или инструктажа дежурной смены ОВД.

Для проведения консультаций/инструктажа дежурной смены ОВД используется следующая информация:

- а) общая характеристика синоптической ситуации в контролируемом районе ОВД;
- б) фактические и ожидаемые метеорологические условия на базовом аэродроме и аэродромах, воздушных трассах и в районах полетов зоны ответственности органа ОВД;
- в) прогнозируемое направление перемещения радиозондов, которые будут выпущены в период работы смены и могут пересекать район полетов в слое от земли до высоты 12 км;
- г) фактические значения QNH на аэродромах и тенденция его изменения для диспетчерской зоны аэродромной диспетчерской вышки (АДВ), диспетчерского органа подхода (ДОП);
- д) прогнозированное минимальное давление QNH в пределах РПИ для РДЦ/секторов полетно-информационного обслуживания;
- е) техническое состояние метеорологического оборудования, средств связи, готовность смены метеорологического органа к работе.

Метеоролог, проводящий консультацию или инструктаж, получает от руководителя полетов информацию об особенностях работы службы ОВД и других служб в период дежурства.

12.8.3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМАЯ ОРГАНАМ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

АМО предоставляют органам обслуживания аэродромного движения – аэродромным диспетчерским вышкам (АДВ):

- а) местные регулярные и специальные сводки по своему аэродрому, а также прогноз для посадки типа TREND (при наличии);

- б) прогнозы ТАФ, изменения к ним и предупреждения по своему аэродрому;
- в) информацию SIGMET и AIRMET, предупреждения и оповещения о сдвиге ветра и предупреждения по аэродрому;
- г) данные МРЛ о зонах опасных конвективных явлений при работе в режиме “Шторм” (при наличии);
- д) информацию о ветре на высоте 100 м и высоте круга (при наличии);
- е) информацию об облаке вулканического пепла, в отношении которых сообщение SIGMET еще не было выпущено;
- ж) информацию о вулканической деятельности, предшествующей извержению и/или вулканическому извержению;
- з) другую дополнительную информацию, о которой имеется договоренность.

АМО предоставляют диспетчерским органам подхода (ДОП) или органу (сектору) ОВД, который проводит диспетчерское обслуживание подхода:

- а) местные регулярные и специальные сводки, а также прогноз для посадки TREND по аэродрому(ах) диспетчерской зоны;
- б) прогнозы ТАФ по аэродрому(ах) диспетчерской зоны;
- в) предупреждения по аэродрому(ах) диспетчерской зоны;
- г) предупреждения и оповещения о сдвигах ветра на аэродромах диспетчерской зоны;
- д) данные МРЛ о зонах опасных конвективных явлений при работе в режиме “Шторм” (при наличии);
- е) информацию SIGMET, AIRMET, AIREP SPECIAL, если она имеет отношение к данной диспетчерской зоне;
- ж) информацию об облаке вулканического пепла, в отношении которых сообщение SIGMET еще не было выпущено;
- з) информацию о вулканической деятельности, предшествующей извержению и/или вулканическому извержению;
- и) другую дополнительную информацию, о которой имеется договоренность.

При наличии у органов ОВД терминалов автоматизированной системы метеорологических наблюдений дополнительно к перечисленной информации сообщаются результаты наблюдений за текущей погодой в реальном масштабе времени.

ОМС предоставляют РДЦ/ВРДЦ и ЦПИ:

- а) сводки METAR и SPECI, в том числе текущие данные о давлении по аэродромам и другим точкам, прогнозы TAF и прогнозы типа TREND с изменениями к ним, охватывающими РПИ или диспетчерский район, и, по запросу ЦПИ или РДЦ и в соответствии с региональным аeronавигационным соглашением, охватывающими аэродромы в соседних РПИ;
- б) прогнозы ветра и температуры воздуха на высотах, прогнозы особых явлений погоды по маршрутам полета с изменениями к ним в частности таких явлений, которые могут воспрепятствовать выполнению полета по ПВП, информацию SIGMET и AIRMET, специальные сообщения с борта ВС по РПИ или диспетчерскому району и, по запросу ЦПИ или РДЦ, по соседним РПИ;
- в) прочую метеорологическую информацию, запрошенную ЦПИ или РДЦ для удовлетворения требований со стороны ВС, находящихся в полете. Если соответствующий ОМС запрошенной информацией не располагает, он обращается с запросом к другому метеорологическому органу;
- г) информацию об облаке вулканического пепла, в отношении которой сообщение SIGMET еще не было выпущено;
- д) информацию об аварийном выбросе радиоактивных материалов в атмосферу;
- е) информацию о тропических циклонах, выпускаемую ТСАС в его районе ответственности;
- ж) консультативную информацию о вулканическом пепле, выпускаемую ВААС в его районе ответственности;
- з) информацией о вулканической деятельности, предшествующей извержению и/или вулканическому извержению.

ОМС обеспечивают Укравроцентр:

- а) прогнозами особых явлений погоды, ветра и температуры воздуха на высотах, а также информацией SIGMET для РПИ Украины;
- б) сводками METAR и прогнозами TAF по аэродромам Украины и сопредельных государств;
- в) метеорологическими консультациями (по договоренности);
- г) другой метеоинформацией по необходимости.

12.9. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРГАНОВ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СЛУЖБЫ

Обеспечение метеорологической информацией органов поисково-спасательной службы (координационного центра поиска и спасания гражданской авиации, службы поисково-спасательного обеспечения полетов авиапредприятий, аэропортов, авиакомпаний) осуществляют назначенные метеорологические органы в соответствии с планом проведения поисково-спасательных работ. Они поддерживают связь с поисково-спасательной службой на протяжении всей поисково-спасательной операции. Порядок взаимодействия приводится в Инструкциях по метеорологическому обеспечению полетов на аэродроме и РДЦ.

Информация, необходимая для проведения поисково-спасательных работ, предоставляется по запросу и содержит сведения о метеорологических условиях, которые имели место в тот период, когда было известно последнее местонахождение исчезнувшего ВС, а также сводки метеорологических условий по маршруту полета данного ВС с указанием:

- а) особых явлений погоды по маршруту;
- б) количества и формы облачности (особенно, кучево-дождевой), высоты нижней и верхней границ;
- в) видимости и условий, которые ее ухудшают;
- г) приземного ветра и ветра на высотах;
- д) наличия снежного покрова или воды;
- е) атмосферного давления, приведенного к среднему уровню моря по условиям стандартной атмосферы.

По запросу органов поисково-спасательной службы назначенный метеорологический орган обязан принять меры для получения детальных сводок о полетной информации, предоставленной экипажу исчезнувшего ВС, в том числе все изменения к прогнозу, переданные на борт ВС, которое находилось в полете.

Для содействия проведению поисково-спасательных работ назначенный метеорологический орган обязан предоставить по запросу полную информацию о фактической и прогнозируемой погоде по маршрутам и районам полетов в зоне поиска.

После получения от соответствующего органа ОВД аварийного оповещения метеорологический орган проводит внеочередные наблюдения за погодой в полном объеме, необходимом для составления местных сводок о погоде, с внеочередным выпуском шаров-пилотов.

Вся метеорологическая документация, имеющая отношение к аварийной ситуации, сохраняется до конца расследования.

12.10. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРГАНОВ СЛУЖБЫ АЭРОНАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

По мере необходимости органам САИ Госгидрометом предоставляется следующая метеорологическая информация:

1. О метеорологическом обслуживании международной аэронавигации, предназначенная для включения в соответствующий сборник аэронавигационной информации согласно требованиям Добавления 1 Приложения 15 "Службы аэронавигационной информации".
2. Необходимая для подготовки NOTAM или ASHTAM, включая, в частности, информацию о:
 - введении, прекращении и значительных изменениях в представлении метеорологического обслуживания. Необходимо, чтобы эта информация предоставлялась органу САИ заблаговременно до даты вступления в силу с тем, чтобы, в соответствии с пп. 5.1.1. и 5.1.1.1. Приложения 15, иметь возможность выпустить NOTAM;
 - возникновении вулканической деятельности;
 - аварийном выбросе радиоактивных материалов в атмосферу (по согласованию между соответствующими полномочными метеорологическими органами и органами гражданской авиации).
3. Необходимая для подготовки циркуляров аэронавигационной информации, включая, в частности, информацию о:
 - ожидаемых важных изменениях в авиационном метеорологическом обслуживании, правилах и средствах его предоставления;
 - влиянии определенных метеорологических явлений на проведение полетов ВС.

12.11. СРЕДСТВА РАССЫЛКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Авиационные метеорологические органы с помощью соответствующих средств связи ICAO и WMO обеспечиваются следующей метеорологической информацией (таблица 12.6, рис. 12.1):

- данными ВСЗП, которые включают в себя глобальные прогнозы ветра, температуры и влажности на высотах, направление и скорость максимального ветра, высоту и температуру тропопаузы, а также прогнозы особых явлений в цифровой форме;
- оперативными метеорологическими данными (OPMET), состоящими из регулярных и специальных сводок о фактической погоде (METAR SPECI), прогнозов погоды по аэрородруму (TAF) и зональных прогнозов (GAMET), информации об опасных метеорологических явлениях (SIGMET, AIRMET), специальных донесений с борта ВС (AIREP SPECIAL);
- консультативными данными о вулканическом пепле и тропических циклонах;
- дополнительными вспомогательными и национальными материалами (например, изображения, получаемые с помощью спутников и радиолокаторов).

ВСЗП является системой ICAO, обеспечивающей авиационную метеорологическую информацию эксплуатационного характера. Эта система основана на организации, состоящей из ВЦЗП Лондон и Вашингтон, которые обеспечивают взаимное резервирование, так что в случае отказа одного из центров текущие материалы можно продолжать рассыпать, используя данные из другого центра. Одной из обязанностей ICAO является обеспечение для всех Договаривающихся государств ICAO возможности доступа ко всем необходимым им данным ВСЗП посредством как минимум одного из компонентов авиационной фиксированной связи (AFS), т.е. через согласованные на двусторонней основе наземные цепи или системы спутниковой связи (SADIS и ISCS).

Таблица 12.6. Средства рассылки метеорологических данных

Система	Рассылка	Тип данных
AFTN/CIDIN (ICAO) (подсоединены к банкам авиационных метеорологических данных в Брюсселе, Тулузе и Вене)	Наземные средства связи	<p>Сводки по аэродрому (METAR), (SPECI) в том числе, если требуется, прогнозы для посадки типа TREND, 9, 18, 24 и 30-часовые прогнозы по аэродрому и измененные прогнозы по аэродрому (TAF);</p> <p>Информация SIGMET, включая информацию об облаках вулканического пепла и тропических циклонах;</p> <p>Консультативная информация о вулканическом пепле и тропических циклонах.</p> <p>Специальные донесения с борта (AIREP), служебные сообщения об эксплуатации системы (сводки о состоянии ВПП).</p>
SADIS (ICAO)	Спутниковая система многоканальной связи (спутниковая система двусторонней связи)	<p>Карты в кодовой форме.</p> <p>Информация в кодовых формах, буквенно-цифровые данные ОРМЕТ.</p> <p>Консультативная информация о вулканическом пепле и тропических циклонах.</p>
GTS (WMO)	Спутниковая система многоканальной связи, наземные цепи, факсимильные радиопередачи	<p>В основном наземные и аэрологические сводки, анализы и прогнозы в кодовых формах.</p> <p>Консультативная информация о вулканическом пепле и тропических циклонах, спутниковые и радиолокационные изображения, донесения с борта.</p>
Интернет	Всемирная сеть	Широкий спектр метеорологических данных в буквенно-цифровой и графической форме.
Радиовещательные системы на национальном уровне	Спутниковая система многоканальной связи, факсимильные радиопередачи, факсимильная и телексная связь, телефон, видеотекст	Буквенно-цифровые данные ОРМЕТ или графические данные, а также наземная и аэрологическая информация, спутниковые и радиолокационные изображения

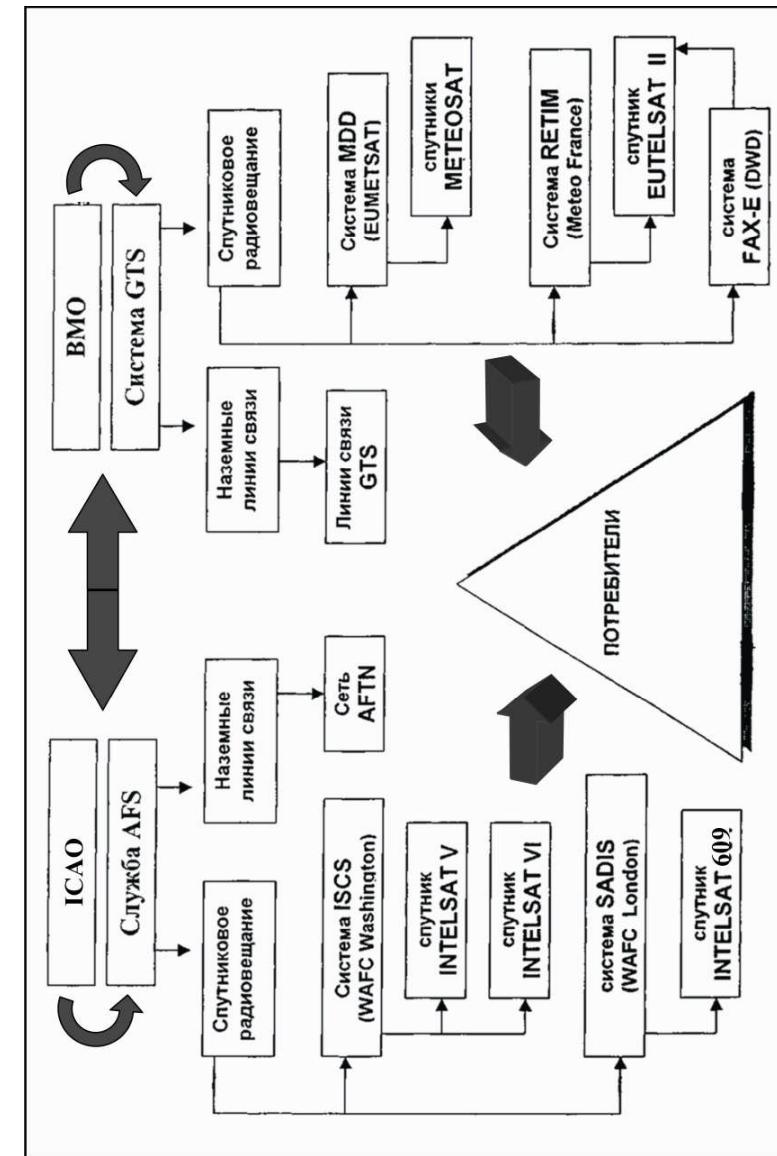


Рис. 12.1. Схема распространения продукции Всемирной системы зональных прогнозов

ВЦЗП собирают всю авиационную метеорологическую информацию и рассыпают ее государствам и потребителям. Во многих государствах ответственность за предоставление этой информации в распоряжение потребителей несут национальные метеорологические службы. Методы осуществления рассылки государствами этой метеорологической информации окончательным потребителям различны, однако, рассылка посредством SADIS и ISCS обеспечивает потребителям стандартное средство связи, позволяющее им получать требуемые данные с помощью AFS. Некоторые государства (например, Франция и Германия) разработали свои собственные спутниковые системы рассылки данных для обеспечения потребителей авиационной метеорологической информацией.

Данные ОРМЕТ рассыпаются с помощью взаимодополняющих наземных и спутниковых (SADIS) средств связи. Наземные цепи связи с применением усовершенствованной AFTN/CIDIN в основном используются для сбора данных, которые затем рассыпаются посредством SADIS. Обмен многими данными также осуществляется с помощью Глобальной системы телесвязи (GTS) WMO, эксплуатируемой на основе двусторонних соглашений. GTS состоит из наземных средств связи, факсимильных радиовещательных передач и спутниковых систем многоканальной связи.

ОРМЕТ-данные подлежат обмену между аэроромами в пределах государства и на международном уровне и должны предоставляться с минимальной задержкой:

- а) метеорологические сводки о фактической погоде на аэророме должны быть переданы не позднее, чем через 5 минут после наблюдений;
- б) прогнозы погоды – не менее, чем за 1 час до начала действия;
- в) информация SIGMET, AIRMET и специальные сводки об ухудшении погоды на аэророме передаются немедленно.

ОРМЕТ-данные сохраняются в Киевском БАМД Украинского гидрометеорологического центра (Укр. ГМЦ) и доступны для потребителей (на договорных условиях) по наземным каналам Глобальной телесвязи (GTS) и сети авиационной фиксированной службы (AFTN). Передача ОРМЕТ-данных Венскому БАМД осуществляется Киевским БАМД Укр. ГМЦ через центр фиксированной связи Украэроруха.

При выполнении эпизодических полетов метеорологическая информация получается путем запроса БАМД – Киевского и европейских (Вена, Брюссель). В тех случаях, когда необходимая информация в БАМД отсутствует, по каналам AFTN запрос направляется непосредственно на аэрором, на который планируется вылет, чтобы обеспечить получение необходимой информации с заблаговременностью не менее 2 часов до запланированного времени вылета.

На национальном уровне имеется широкий выбор средств рассылки данных, как, например, факсимильная и телексная связь, интернет, телефон и т.д. В дополнение к этому для рассылки этой информации некоторые государства используют свои собственные спутниковые системы (например, французская система RETIM, немецкая – FAX-E).

Порядок распространения метеоинформации на аэророме и средства доведения ее авиационным потребителям определяются Инструкциями по метеообеспечению полетов на аэророме и РДЦ/ВРДЦ. Средства связи между метеорологическими органами и диспетчерскими пунктами ОВД обеспечиваются органами ОВД. Эти средства должны включать громкоговорящую (ГГС) или телефонную связь, которые обеспечивают возможность установления связи за 15 секунд и менее. При передаче информации по ГГС необходимо руководствоваться установленными правилами и фразеологией.

Для документирования метеоинформации, передаваемой органам ОВД, производится контрольная звуковая запись в соответствии с требованиями Инструкции по организации технического обеспечения объективного контроля информации при ОВД и производственной деятельности на предприятиях ГА Украины.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Что является целью метеорологического обеспечения полетов?
2. Какие функции по метеорологическому обеспечению авиации выполняет ICAO?
3. Какой основной документ определяет (регламентирует) деятельность ICAO по метеообеспечению авиации?
4. Какие функции по метеообеспечению авиации выполняет WMO?
5. Какой основной документ определяет деятельность WMO по метеообеспечению авиации?

6. Что такое всемирная система зональных прогнозов?
7. Что такое всемирные центры зональных прогнозов?
8. Где располагаются всемирные центры зональных прогнозов?
9. Какой основной документ регламентирует требования к метеорологическому обеспечению авиации в Украине?
10. Какие органы осуществляют метеорологическое обеспечение полетов в аэропортах?
11. Какие функции по метеообеспечению полетов выполняют аэродромные метеорологические органы с синоптической частью?
12. Какие функции по метеообеспечению полетов выполняют аэродромные метеорологические органы без синоптической части?
13. Какие органы осуществляют метеорологическое обеспечение авиации на маршрутах полетов, районных диспетчерских центров, центров планирования использования воздушного пространства и регулирования воздушного движения?
14. Какие функции по метеообеспечению полетов выполняют органы метеорологического слежения?
15. Что является основным документом, определяющим порядок метеорологического обеспечения на каждом конкретном аэродроме?
16. Кому подчиняется в оперативном отношении дежурная смена аэродромного метеорологического органа и органа метеорологического слежения?
17. Какие функции по метеообеспечению авиации выполняет консультативный центр по тропическим циклонам (TCAC)?
18. Какие функции по метеообеспечению авиации выполняет консультативный центр по вулканическому пеплу (VAAC)?
19. Когда проводятся регулярные наблюдения за погодой на аэродроме?
20. В каком виде составляются сообщения о результатах регулярных наблюдений за погодой на аэродроме для распространения за пределы аэродрома?
21. В каком виде составляются сообщения о результатах регулярных наблюдений за погодой для распространения на аэродроме, для радиовещательных передач ATIS и не отнесенных к ATIS передачам?
22. Когда проводятся специальные наблюдения за погодой на аэродроме?
23. В каком виде составляются сообщения о результатах специальных наблюдений за погодой на аэродроме для распространения за пределы аэродрома?
24. В каком виде составляются сообщения о результатах специальных наблюдений за погодой на аэродроме для распространения на аэродроме, для радиовещательных передач ATIS и не отнесенных к ATIS передачам?
25. Как быстро распространяются результаты специальных наблюдений за погодой на аэродроме?
26. С помощью какого оборудования и с какой целью проводятся радиолокационные наблюдения за погодой?
27. Как часто проводятся радиолокационные наблюдения?
28. В каком виде предоставляется потребителям информация метеорологических искусственных спутников Земли?
29. Когда и с какой целью на аэродроме определяют ветер на высотах?
30. С какой целью проводятся метеорологические наблюдения с борта ВС?
31. Какие наблюдения за погодой проводятся с борта ВС?
32. Информация о наличии каких опасных явлений погоды по маршруту полета, в зоне набора высоты и снижения должна быть передана диспетчеру ОВД?
33. Что такое AIREP?
34. Какую информацию содержит сообщение ARP?
35. Какую информацию содержит сообщение ARS?
36. Кто обеспечивает экипажи ВС или эксплуатантов метеорологической информацией для самостоятельной подготовки и выполнения полета?
37. В чем состоит предполетная метеорологическая подготовка экипажей ВС?
38. Когда и зачем проводится метеорологическая консультация экипажей ВС?
39. Какая информация включается в полетную метеорологическую документацию?
40. Какая метеорологическая документация выдается экипажу ВС при полетах продолжительностью более 2 часов?
41. Какая метеорологическая документация выдается экипажу ВС при полетах продолжительностью 2 часа и менее?
42. В каком виде выдается экипажам ВС метеорологическая документация?
43. На какой период составляется прогноз погоды по маршруту полета?
44. Каким образом проводится метеорологическое обеспечение экипажей ВС в полете?
45. Что такое передача ATIS?
46. Что такое передача VOLMET?
47. На какие типы подразделяется метеорологическая информация, предоставляемая органам ОВД?
48. Каким документом определяются конкретные виды метеоинформации, формы ее доведения органам ОВД?
49. Какая метеорологическая информация предоставляется дежурной смене ОВД при проведении метеорологической консультации или инструктажа?

50. Какая метеорологическая информация предоставляется органам обслуживания аэродромного движения – аэродромным диспетчерским вышкам (АДВ)?
51. Какая метеорологическая информация предоставляется диспетчерским органам подхода (ДОП)?
52. Какая метеорологическая информация предоставляется РДЦ/ВРДЦ?
53. Какая метеорологическая информация предоставляется органам полетно-информационного обслуживания?
54. Какая метеорологическая информация предоставляется органам поисково-спасательной службы?
55. Какая метеорологическая информация предоставляется УкраэроКентру?
56. Где сохраняются ОРМЕТ-данные?
57. Какую метеорологическую информацию представляют ВЦЗП ?
58. Какая информация включается в оперативные метеорологические данные (ОРМЕТ)?

ГЛАВА 13. АВИАЦИОННО-КЛИМАТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

13.1. ОСНОВНЫЕ КЛИМАТООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ

Существует три основных цикла климатообразующих процессов: теплооборот, влагооборот и атмосферная циркуляция. Все они тесно связаны между собой. Например, на тепловой режим подстилающей поверхности, а значит и атмосферы, влияет облачность, которая задерживает приток солнечной радиации. Образование облачности является одним из элементов влагооборота. Но образование облачности, в свою очередь, зависит от тепловых условий подстилающей поверхности и атмосферы, которые зависят от общей циркуляции (ОЦА). Течения ОЦА переносят водяной пар и облака и, тем самым, влияют на влагооборот, а через него и на тепловые условия. То есть, режим каждого элемента климата является результатом действия всех трех климатообразующих процессов.

Климатообразующие процессы протекают в конкретных географических условиях (рис. 13.1).

Основными географическими факторами климата являются: географическая широта, высота над уровнем моря, распределение суши и воды, орография поверхности суши, океанические течения, растительный, снежный и ледяной покров.

Географическая широта определяет зональность (вдоль широты кругов) в распределении элементов климата. Солнечная радиация поступает на верхний уровень атмосферы в четкой зависимости от географической широты, что определяет полуденную высоту Солнца, распределение температуры воздуха вдоль земной поверхности. Географическая широта является одним из факторов, определяющих параметр Кориолиса, от которого зависит ОЦА.

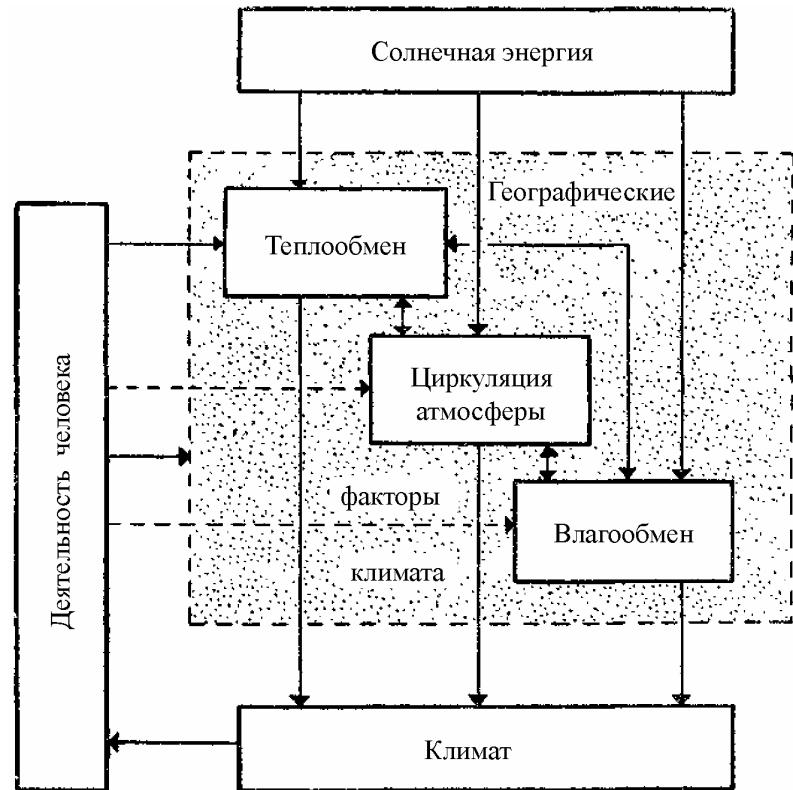


Рис. 13.1. Схема климатообразования

Высота над уровнем моря приводит к уменьшению температуры и влажности воздуха, атмосферного давления. С высотой в атмосфере усиливается солнечная радиация, а ветер достаточно сложно изменяется как по скорости, так и по направлению. В горах наблюдается высотная климатическая зональность, которая состоит в том, что изменение метеорологических величин с высотой приводит к быстрой смене всего комплекса климатических условий. Смена высотных климатических поясов напоминает смену климатических зон с широтой. Разница состоит в том, что смена в горизонтальном направлении проходит на протяжении тысяч километров, а в горах – несколько километров.

Распределение суши и воды определяет деление климата на морской и континентальный. Морской климат характеризуется малыми годовыми амплитудами температуры воздуха, а континентальный – большими.

Зональность климатических характеристик (температура, осадки, и др.) зависит от неравномерности распределения суши и воды. В Южном полушарии, где преобладает океаническая поверхность, зональность в распределении температуры, давления, ветра выражена значительно лучше, чем в Северном полушарии.

Центры действия атмосферы на многолетних средних картах давления находятся в тесной связи с распределением суши и моря: субтропические зоны высокого давления разрываются над континентами летом; в умеренных широтах над материками преобладает высокое давление зимой и низкое – летом. Все это усложняет систему атмосферной циркуляции, а значит, и распределение климатических условий на Земле.

Орография поверхности суши. На климатические условия в горах влияет высота местности над уровнем моря, высота и направление горных хребтов, экспозиция склонов, преобладающие направления ветра, ширина долин, крутизна склонов и др.

Воздушные течения могут задерживаться и отклоняться горами, а атмосферные фронты обостряться или размываться. В узких проходах между горами скорость ветра усиливается, в горах возникают местные системы циркуляции воздуха – горно-долинные и ледниковые ветры.

В связи с перетеканием воздуха через горы на наветренных склонах увеличивается облачность, усиливаются осадки. На подветренных склонах возникают фёны с повышением температуры и уменьшением влажности и облачности. Над горами и за ними возникают горные волны и особые формы облаков. Над нагретыми склонами гор усиливается конвекция и облакообразование.

Океанические течения создают значительную разницу в температурном режиме моря и влияют на распределение температуры воздуха и на атмосферную циркуляцию. Теплые течения Гольфстрима приводят к потеплению климата восточной части Атлантического океана и Западной Европы. Над районами холодных океанических течений повышается повторяемость туманов.

Растительный покров уменьшает суточную амплитуду температуры грунта и снижает ее среднюю температуру. А, следовательно, он уменьшает и суточную амплитуду температуры воздуха. Влияние растительного покрова распространяется на весь приземный слой воздуха (до высоты нескольких десятков метров).

Снежный (ледяной) покров уменьшает потери тепла грунтом и колебания его температуры. Но сама поверхность покрова отражает солнечную радиацию днем и очень охлаждается ночью. Поэтому снежный покров охлаждает воздух, который находится над ним. Весной на таяние снежного покрова идет много тепла, поступающего из атмосферы. Над снежным покровом часто наблюдаются инверсии температуры воздуха: зимой они связаны с радиационным выхолаживанием, весной – с таянием снега.

Деятельность человека не является географическим фактором климата. Но человек своей хозяйственной деятельностью влияет на климатообразующие процессы и, тем самым, на климат путем изменения тех или иных географических факторов. Вырубка лесов, нерациональная вспашка земель, строительство городов, промышленных предприятий и водохранилищ без учета влияния на окружающую среду, выбросы в атмосферу углекислого газа (диоксида углерода) и других примесей существенно влияют на климат и ухудшают климатические условия.

13.2. КЛАССИФИКАЦИИ КЛИМАТОВ

Климатообразующие процессы проходят в различных географических условиях и приводят к формированию различных типов климата. Существует множество классификаций климата, разработанных различными авторами, как для всего Земного шара, так и для отдельных его частей. Наиболее распространеными являются классификации В. Кеппена – Г. Треварта, Л.С. Берга и Б.П. Алисова.

В основе **классификации В. Кеппена – Г. Треварта** лежит режим температуры и увлажнения. По этой классификации выделяется 6 классов и 16 подклассов климата (таблица 13.1, рис. 13.2).

Таблица 13.1. Классификация климата В. Кеппена – Г. Треварта

	Класс и подкласс климата	Определение
A	Тропические	Средние месячные температуры выше 17°C в течение всего года
<i>Ar</i>	Тропический дождевой	
<i>Am</i>	Тропический муссонный дождевой	
<i>Aw</i>	Тропический летний дождевой	
<i>As</i>	Тропический климат с сухим летом и дождевой зимой	
B	Сухие	Испарение превышает осадки
<i>BS</i>	Климат степей	
<i>BW</i>	Климат пустынь	
<i>BM</i>	Климат морских пустынь	
C	Субтропические	Среднемесячные температуры более 9°C в 8...12 месяцах
<i>Cr</i>	Дождевой климат	
<i>Cw</i>	Субтропический летний дождевой климат	
<i>Cs</i>	Субтропический зимний дождевой климат	
D	Умеренные	Среднемесячные температуры более 9°C в 4...7 месяцах
<i>DO</i>	Умеренный морской климат	
<i>DC</i>	Умеренный континентальный климат	
E	Субарктические	Среднемесячные температуры самого холодного месяца выше -10°C
<i>EO</i>	Субарктический морской климат	
<i>EC</i>	Субарктический континентальный климат	Среднемесячные температуры самого холодного месяца ниже -10°C
F	Полярные	Ни в одном месяце среднемесячная температура не превышает 9°C
<i>FT</i>	Климат тундры	
<i>FI</i>	Ледовый климат	

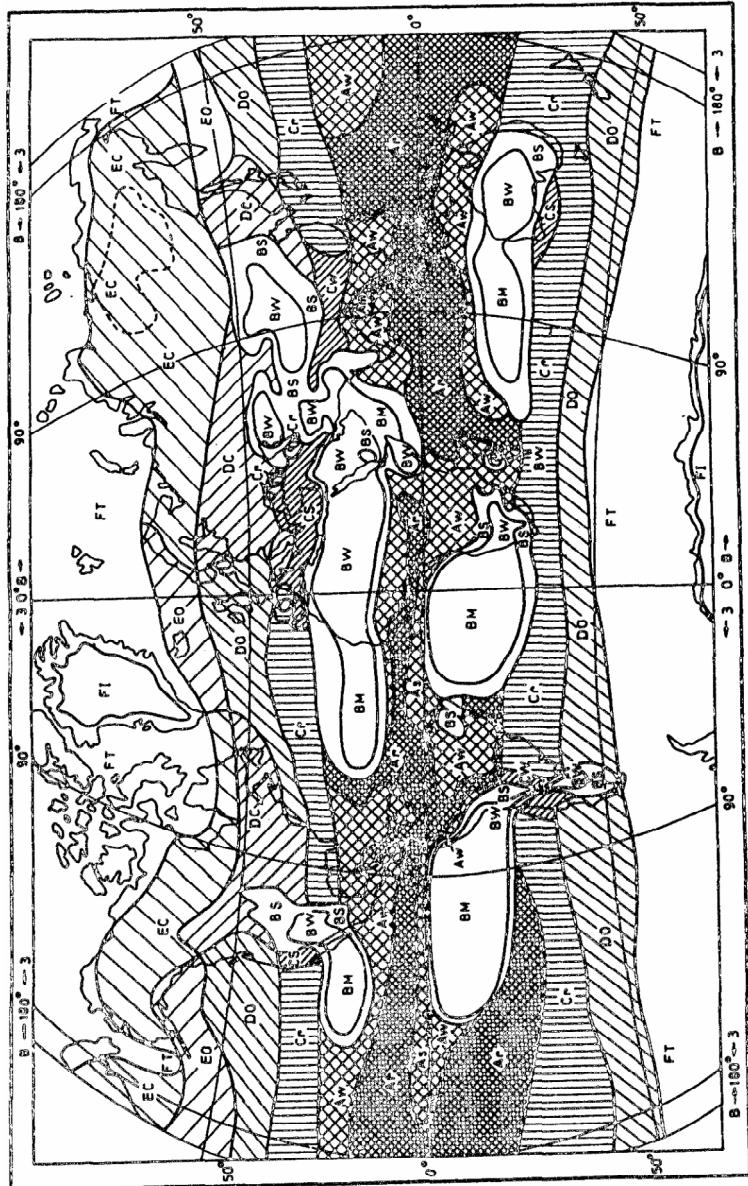


Рис. 13.2. Климатическое районирование Земли по В. Кеппену и Г. Треварту

Классификация В. Кеппена – Г. Треварта имеет широкое распространение в связи с четкими количественными критериями, по которым конкретное место относится к тому или иному типу климата. Для этого необходима информация о средних месячных и годовых значениях температуры воздуха и осадков в данном месте. Основным недостатком этой классификации является отсутствие критериев образования того или иного типа климата.

Л.С.Берг предложил классификацию климатов, выходящую из разработанной им классификации ландшафтно-географических зон суши и состоящую из 12 типов.

1. **Климат вечного мороза** – средняя месячная температура воздуха на протяжении года ниже 0°C.
2. **Климат тундры** – продолжительная и холодная зима, короткое и прохладное лето. Средняя температура самого теплого месяца не выше 10...12°C, но не ниже 0°C. Данный климат имеет морской и континентальный подтипы.
3. **Климат тайги** – температура июля выше 10°C, но не выше 20°C, годовая амплитуда не менее 10°C, за год выпадает 300...600 мм осадков.
4. **Климат лесов умеренной зоны** – средняя температура четырех месяцев теплого времени года выше 10°C, но не выше 22°C, за год выпадает 500...700 мм осадков.
5. **Муссонный климат умеренных широт** – холодная зима и теплое дождливое лето с сезонным изменением преобладающих ветров.
6. **Климат степей** – зима умеренная или холодная, лето теплое, за год выпадает 200...450 мм осадков.
7. **Климат средиземноморский** – лето жаркое, сухое, средняя температура летних месяцев 23...28°C; зима теплая, влажная, средняя температура самого холодного месяца выше 0°C.
8. **Климат зоны субтропических лесов** – средняя температура самого холодного месяца выше 2°C. Лето жаркое, дождливое, за год выпадает более 1000 мм осадков с четко выраженным летним максимумом.
9. **Климат внутриматериковых пустынь** – средняя температура самого теплого месяца 25...32°C. Зима прохладная, температура самого холодного месяца ниже 2°C. За год выпадает менее 300 мм осадков.

10. Климат субтропических пустынь – жаркое лето и теплая зима. За год выпадает очень мало осадков (50...250 мм).

11. Климат саванн – температура самого холодного месяца выше 18°C. Дождей много, но не более 2000...2500 мм за год; имеется четко выраженный сухой период, приходящийся на зиму и весну соответствующего полушария.

12. Климат влажных тропических лесов – температура самого холодного месяца превышает 18°C, а самого теплого – 24...28°C. Годовые амплитуды температуры 1...6°C. За год выпадает 2500...4000 мм и более осадков.

На основании изучения ОЦА, или, так называемых, циркуляционных факторов, под которыми понимают горизонтальное перемещение воздушных масс (теплых и холодных), их трансформацию под влиянием подстилающей поверхности и фронтальную деятельность, **Б.П. Алисов** разработал генетическую классификацию климатов Земли (рис. 13.3). В зависимости от сезонного распределения основных типов воздушных масс и от положения главных атмосферных фронтов Б.П. Алисов выделяет семь основных климатических зон – **экваториальную, две тропические, две умеренные и две полярные** (по одной в каждом полушарии). В этих зонах климатообразование на протяжении года проходит под преобладающим влиянием воздушных масс только одного типа: экваториального, тропического, умеренного и арктического (в Южном полушарии антарктического) воздуха. Между ними Алисов выделяет шесть переходных зон, по три в каждом полушарии, которые характеризуются сезонной сменой преобладающих воздушных масс. Это **две субэкваториальные зоны**, или зоны тропических муссонов, в которых летом преобладает экваториальный, а зимой – тропический воздух; **две субтропические зоны**, в которых летом преобладает тропический, а зимой – умеренный воздух; **зоны субарктическая и субантарктическая**, в которых летом преобладает умеренный, а зимой – арктический или антарктический воздух.

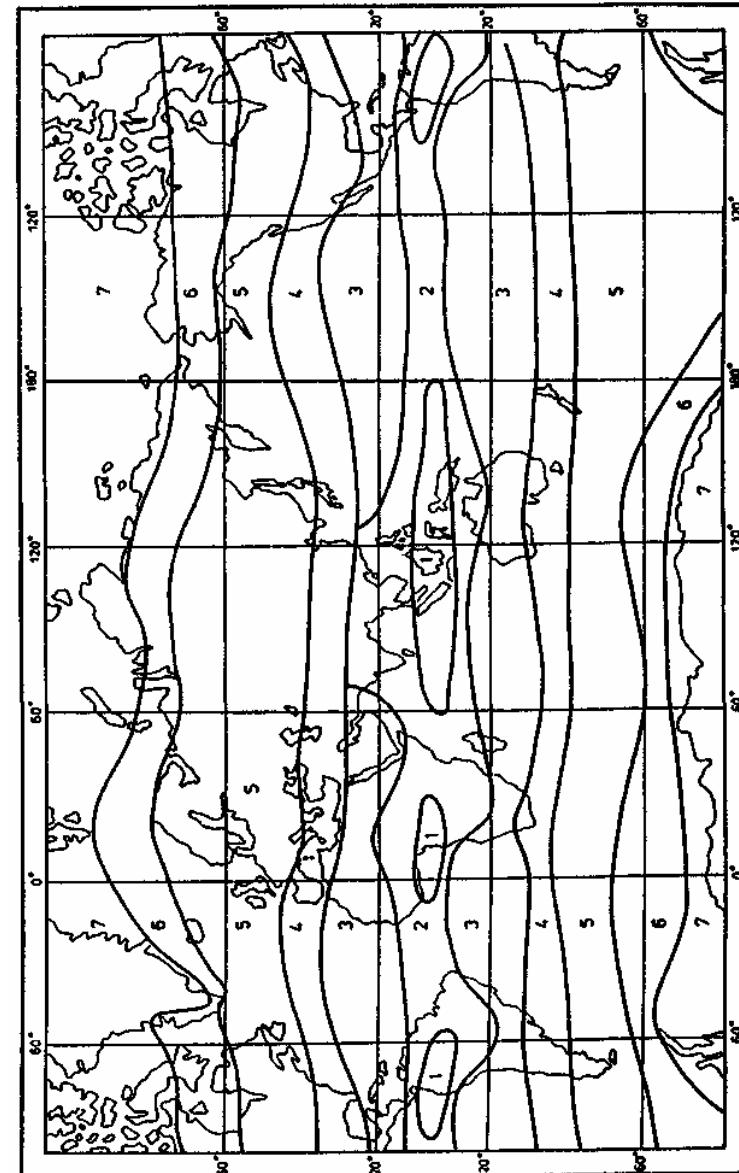


Рис. 13.3. Климатические зоны Земли по Б.П. Алисову:

Границы зон определяются по среднему положению климатологических фронтов. В каждой из широтных зон различают четыре основных типа климата: **материковый, океанический, климат западных берегов и климат восточных берегов континентов**. Различие между материковым и океаническим климатом обуславливается различиями в свойствах подстилающей поверхности; в первом случае эти свойства создают континентальные воздушные массы, в другом – морские. Различия между климатом западных и восточных берегов континентов связаны преимущественно с различиями в условиях общей циркуляции атмосферы, и отчасти, с распределением океанических течений.

13.3. КЛИМАТ УКРАИНЫ

В соответствии с классификацией В. Кеппена – Г. Треварта климат Украины относят к зоне Е – субарктический климат, зима и лето четко выражены, увлажнение достаточное и равномерное на протяжении года.

По ландшафтно-географической классификации Л.С. Берга климат Украины принадлежит к климату лиственных лесов умеренной зоны или климату дубовых лесов (сюда же включается Лесостепь и Степь). Для нее характерна смена температуры воздуха в пределах 10...20°C на протяжении четырех месяцев теплого периода и преобладанием осадков летом, что соответствует климатическим условиям Украины.

В соответствии с генетической классификацией Б.П. Алисова, Украина располагается, в основном, в климатической зоне умеренных широт, которая занимает всю равнинную часть, Украинские Карпаты и Крымские горы. Здесь на протяжении года преобладают воздушные массы умеренных широт, образовавшиеся вследствие трансформации как океанического, так и континентального воздуха. В климатических зонах выделяют области с учетом типа грунтово-растительного покрова.

Равнинная часть территории Украины расположена в пределах двух климатических областей – лесного атлантико-континентального и степного атлантико-континентального климата.

К области лесного атлантико-континентального климата относят Полесье и Лесостепь. Здесь преобладают воздушные массы с Атлантического океана, которые постепенно трансформируются в умеренно-континентальные.

К области степного атлантико-континентального климата относится Степь и степная часть Крыма. Климат этой области характеризуется наибольшей континентальностью и засушливостью.

Климатические области имеют широтное распространение, но под влиянием циркуляции атмосферы в их пределах наблюдаются отличия в количественных показателях метеорологических величин. Поэтому в указанных областях выделяют и климатические районы, связанные с физико-географическими особенностями территории.

Украинские Карпаты и Крымские горы характеризуются своеобразными климатическими условиями, обусловленными вертикальной поясностью, орографическими особенностями склонов разной крутизны и экспозиции, значительной протяженностью, местными циркуляциями атмосферы.

В Украинских Карпатах климат изменяется от мягкого предгорного до климата альпийских лугов. Особенno выделяется Закарпатская низменность, защищенная с севера и северо-востока горными грядами Украинских Карпат, куда южные циклоны приносят тепло и влагу.

В Крымских горах представлены варианты лесного атлантико-континентального климата, а на высокогорных участках – климата горных лугов. На южных склонах, четко проявляется влияние моря, особенно в распределении количества осадков, а также в возникновении фенов.

Узкая зона побережий Черного и Азовского морей (до границы распространения бризов) характеризуется приморским климатом.

Южный берег Крыма характеризуется чертами средиземноморского климата. Здесь наблюдается теплая влажная зима, солнечное, жаркое, засушливое лето и продолжительная теплая осень.

Основные климатические характеристики метеорологических величин природных зон и регионов Украины представлены в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Климатические показатели (характеристики) природных зон и регионов Украины

Природная зона, регион	Средняя температура воздуха, °C		Умеренная климатическая зона. Лесная атлантико-континентальная область															
	январь	июль	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до				
Умеренная климатическая зона. Лесная атлантико-континентальная область																		
Смешанные леса	-6	-5	18	18	-39	-33	36	38	150	170	570	650	150	180	4	22	70	85
центральная	-7	-6	18	19	-37	-33	35	40	150	190	600	680	155	170	9	21	80	100
восточная	-8	-7	18	19	-40	-36	36	39	150	160	600	720	150	170	14	18	100	120
Широколиственные леса и лесостепная	-6	-4	17	19	-36	-31	35	39	160	180	560	740	150	180	3	19	75	100
центральная	-6	-4	18	20	-41	-31	35	40	160	190	510	650	130	160	12	35	70	90
восточная	-6	-6	19	21	-40	-33	35	40	150	190	510	640	130	160	13	38	80	100
Украинские Карпаты	-7	-4	11	18	-39	-27	26	37	120	180	760	1650	170	210	6	23	100	120
Предкарпатье	-5	4	17	19	-36	-31	35	38	160	190	660	890	150	180	5	13	80	90
Закарпатская низменность	-4	-3	18	20	-33	-29	34	39	160	190	690	1100	150	160	9	14	50	70
Крымские горы	-4	-2	15	18	-27	-23	30	32	160	180	790	1090	150	160	24	26	80	110
Степная атлантико-континентальная область																		
Степная	-7	4	20	22	-42	-28	36	41	160	200	470	600	110	150	29	60	50	80
северная	-7	4	20	22	-42	-28	36	41	160	200	470	600	110	150	29	60	50	80
южная	-4	0	21	23	-37	-23	37	41	170	240	370	520	95	130	6	90	20	50
Побережье морей	-2	0	22	24	-39	-23	36	39	200	240	370	480	80	110	1	6	20	50
Субтропическая климатическая зона. Средиземноморская климатическая зона																		
Южный берег Крыма	3	4	22	23	-22	-15	37	38	220	270	390	630	100	110	1	21	8	20

13.4. ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Окружающая нас природа – географическая среда – на протяжении всей геологической истории Земли (4,5 млрд. лет) находится в процессе непрерывных изменений и развития. Изменяется и климат, который является одним из элементов этой среды. При этом изменения климата проходят в тесной связи и взаимодействии с другими элементами географической среды и вызываются **природными и антропогенными факторами**.

Природные изменения климата проходят под влиянием факторов, которые можно разделить на несколько групп: космические, астрономические, геологические и метеорологические.

Действие **космических факторов** объясняется колебаниями солнечной постоянной. При этом ее изменения могут быть связаны с непосредственными изменениями солнечного излучения и его спектрального состава в связи с эволюцией Солнца, или в связи с тем, что при перемещении во Вселенском пространстве, Солнечная система пересекает участки этого пространства с различной прозрачностью. При прохождении менее прозрачных участков солнечная постоянная уменьшается, а при прохождении более прозрачных – увеличивается.

Астрономические факторы объясняют изменения климата влиянием изменения некоторых астрономических величин – наклона плоскости эклиптики, изменениями эксцентриситета земной орбиты и другими.

Наклон эклиптики – наклон плоскости земной орбиты к плоскости земного экватора – изменяется от 22° до $24,5^{\circ}$ примерно за 40000 лет. Увеличение наклона приводит к повышению температуры в высоких широтах и уменьшению в тропических, уменьшение наклона – наоборот.

Объясняя влияние эксцентриситета орбиты Земли, необходимо иметь в виду, что Земля вращается вокруг Солнца не по кругу, а по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Представление о форме земной орбиты дает ее эксцентриситет. Чем он больше, тем больше эллипс отличается от круга. Эксцентриситет может изменяться от 0 до 0,068 в течение примерно 92000 лет, Чем больше эксцентриситет, тем

ближе будет Солнце к Земле зимой Северного полушария. В этом случае зимы будут короткими и теплыми, а лето – продолжительное и прохладное. В Южном полушарии будет наблюдаться противоположная картина.

Все астрономические факторы имеют разные периоды изменения, но действуют на климат одновременно. При этом влияние одного фактора может усиливаться или уменьшаться за счет влияния другого.

Влияние **геологических факторов** связанно с перемещением полюсов земной оси и материков. В связи с этим в различные геологические периоды происходили изменения в размещении географических широт, которые приводили к тому, что одни климатические зоны приближались к полюсам, а другие удалялись от них. В первом случае наблюдалось похолодание, во втором – потепление.

Группа **метеорологических факторов** охватывает основные характеристики атмосферы и гидросфера, их массы и химический состав.

Наличие в атмосфере термодинамически активных примесей (вода, углекислый газ, аэрозоли) имеет большое значение при формировании климата, а колебание их количества может быть причиной изменения климата. Это можно увидеть на примере углекислого газа, который пропускает коротковолновое излучение Солнца и задерживает длинноволновое излучение Земли. Увеличение количества углекислого газа приводит к увеличению температуры воздуха, а уменьшение – к ее понижению.

Антропогенные изменения климата проходят под влиянием хозяйственной деятельности общества. При этом на климат влияют такие процессы:

- распахивание огромных массивов земли, вызывающие изменение ее отражательной способности (альбедо), быструю потерю влаги, подъем пыли в атмосферу;
- уничтожение лесов, особенно тропических, влияющих на воспроизводство кислорода, изменения альбедо и испарения;
- перевыпас скота, превращающий степи и саванны в пустыни, в результате чего меняется альбедо, иссушается почва;

- сжигание ископаемого органического топлива и поступление в атмосферу углекислого газа и метана;
- выбрасывание в атмосферу промышленных отходов, меняющих состав атмосферы, увеличивающих содержание радиационно-активных газов и аэрозолей. Последние два процесса увеличивают парниковый эффект.

Информация об изменениях климата уменьшается по мере углубления в геологическую историю. Показателями климатических изменений в докембрии (период от 4,65 млрд. лет до 570 млн. лет тому) являются геологические данные (продукты физического и химического выветривания). В более поздние эпохи появляются методы палеонтологии и палеоботаники, в том числе споро-пыльцевой анализ, и методы геофизики. С 19 столетия решающее значение имеют инструментальные метеорологические и аэрологические наблюдения, математическое моделирование и другие современные методы. Изучение прошлого Земли и изменений глобального климата необходимо для понимания процессов, имеющих место сейчас, и возможности прогнозирования климата будущего.

Изменения климата в последней четверти 19 и в 20 столетии характеризуют на основании прямых метеорологических измерений. На рис. 13.4 представлено изменение средних годовых аномалий температуры воздуха у поверхности Земли с 1861 по 2000 годы в отклонениях от средней температуры (нормы) за 1961...1990 годы.

Видно, что температура во второй половине 19 столетия значительно ниже нормы. Это конец малого ледникового периода. После этого на протяжении 20 столетия началось повышение температуры. Но оно было не одинаковым: наибольшее потепление наблюдалось в 1910...1945 и с 1976...2000 годы, а в 1946...1975 годах наблюдалось похолодание. В Северном полушарии и в тропиках температура изменялась синхронно с глобальной. В Южном полушарии рост температуры начался примерно на 20 лет позже. В целом, по оценкам Межправительственной группы экспертов ООН и ВМО по изменениям климата, на протяжении 20 столетия глобальная температура воздуха повысилась на $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ и это потепление было наибольшим за последнее тысячелетие.

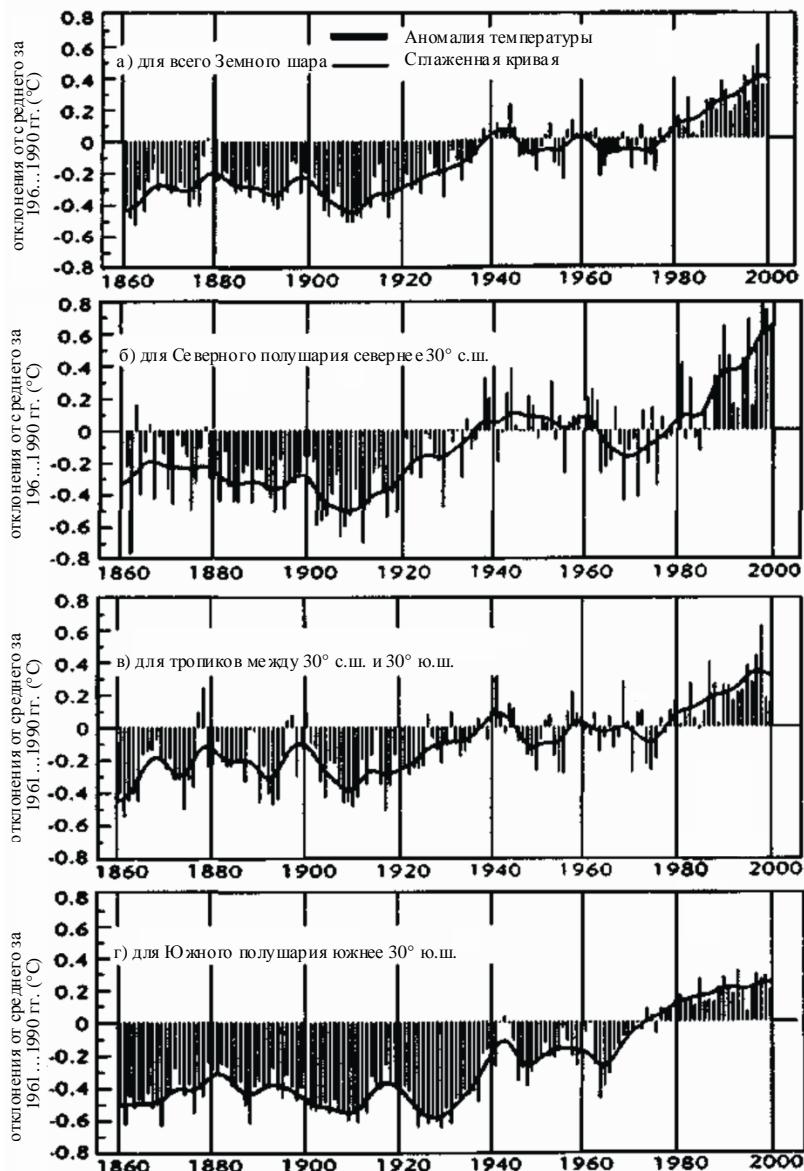


Рис. 13.4. Изменения средних годовых аномалий температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) возле поверхности Земли с 1861 по 2000 годы (в отклонениях от нормы за 1961...1990 годы)

Спутниковые данные и наземные наблюдения показывают, что площадь снежного покрова уменьшилась приблизительно на 10%, а продолжительность ледяного покрова на реках и озерах в средних и высоких широтах Северного полушария уменьшилась примерно на две недели.

В 20 столетии наблюдалось отступление горных ледников в неполярных районах и повышение уровня Мирового океана на 0,1...0,2 м. Количество атмосферных осадков в большинстве районов высоких и средних широт Северного полушария, увеличивалось на 0,3...1,0% за десятилетие, при этом во второй половине столетия увеличилась повторяемость сильных осадков. Но в субтропиках Северного полушария (между 10...30° с.ш.) количество осадков, наоборот, уменьшалось на 3% за десятилетие.

Относительно дальнейших изменений климата существуют различные неоднозначные гипотезы.

По расчетами Межправительственной группы экспертов ООН и ВМО средняя глобальная температура на протяжении 1990...2100 годов может повыситься на 1,5...5,8 $^{\circ}\text{C}$. Обосновывают это антропогенными факторами. При таком повышении температуры над земным шаром над сушей потепление будет еще большим и особенно в высоких широтах в холодное время года. Количество осадков зимой во внутротропических широтах Северного полушария и в Антарктиде, вероятно, увеличится. Ожидается дальнейшее уменьшение снежного и ледяного покрова в Северном полушарии. Ледники, за исключением Гренландии и Антарктиды, будут отступать. Ожидается повышение уровня Мирового океана на 0,14...0,8 м.

По прогнозам другой группы ученых уже через несколько лет (6...8) на Земле начнется похолодание, температура воздуха достигнет минимума в 2055...2060 годах. В среднем станет на 1,2...1,3 $^{\circ}\text{C}$ холоднее, чем сейчас. Обосновывают это изменениями солнечной активности.

Какие же изменения климата будут в действительности? Ответ на этот вопрос дадут дальнейшие углубленные научные исследования и время.

13.5. АВИАЦИОННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ АЭРОДРОМОВ И РАЙОНОВ ПОЛЕТОВ

Авиационно-климатические описания аэродромов и районов полетов составляются аэродромными метеорологическими органами с синоптической частью. Они содержат систематизированные данные о качественных и количественных характеристиках климата некоторого района и предназначены для изучения и оценки влияния климатических особенностей конкретного географического района на деятельность авиации. Для их составления должны использоваться результаты наблюдений не менее чем за пять лет.

Авиационно-климатические описания используются:

- руководящим составом авиационных подразделений при организации и планировании полетов на вновь открываемых и действующих маршрутах;
- техническим составом при планировании мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную готовность аэродромов и авиационной техники;
- летным составом для ознакомления с особенностями метеорологических условий на маршруте в различные сезоны;
- метеорологами для учета местных влияний на атмосферные процессы при составлении авиационных прогнозов погоды;
- соответствующими специалистами, занимающимися проектированием и строительством аэродромов, авиационной техники и др.

Авиационно-климатическое описание аэродрома является пособием для изучения погоды и климата в районе данного аэродрома. Оно служит основным источником для составления авиационно-климатических обзоров и сводок и составляется по следующему плану.

Введение

1. Краткая физико-географическая характеристика района аэродрома
2. Общие черты климата
3. Авиационно-климатическая характеристика зимнего сезона
 - 3.1. Типичные атмосферные процессы

3.2. Авиационно-климатическая характеристика по отдельным метеорологическим величинам и погодным комплексам (средние, максимальные и минимальные значения основных метеорологических величин; повторяемость возникновения опасных метеорологических явлений; повторяемость возникновения определенных значений одной метеорологической величины или соединения двух и более величин, например, ограниченной видимости и низкой облачности и др.)

3.3. Сведения о запасных аэродромах

4,5,6. Авиационно-климатическая характеристика весеннего, летнего и осеннеего сезонов

Выводы

Приложения

Использованная литература

Данные или таблицы из авиационно-климатических описаний приводятся в Инструкциях по выполнению полетов на аэродроме.

В отличие от авиационно-климатических описаний аэродромов описания воздушных трасс предусматривают изучение не только временных, но и пространственных закономерностей климата в пределах некоторой территории (авиатрассы местного значения, трансконтинентальные и межконтинентальные).

Авиационно-климатические описания воздушных трасс составляются по следующему плану.

Введение

1. Физико-географический обзор
 - 1.1. Общие сведения
 - 1.2. Рельеф
 - 1.3. Гидрография
 - 1.4. Растительность
 - 1.5. Почвы и проходимость территории
2. Общие черты климата
 - 2.1. Характер атмосферной циркуляции
 - 2.2. Климатическое районирование
 3. Авиационно-климатическая характеристика зимнего сезона
 - 3.1. Особенности атмосферной циркуляции сезона

- 3.2. Режим отдельных элементов климата (атмосферное давление, ветер у земли и на высотах, температура у земли и на высотах, облачность, осадки, влажность воздуха, снежный покров, обледенение и болтанка, особые явления, видимость)
- 3.3. Комплексные авиационно-климатические характеристики
- 4,5,6. Авиационно-климатические характеристики весеннего, летнего и осеннеого сезонов
- 7. Местные условия в отдельных аэропортах
 - Выходы
 - Приложения
 - Использованная литература
- 14. Как изменилась глобальная температура воздуха в 20 столетии?
- 15. Какие существуют гипотезы изменения климата в будущем?
- 16. На чем базируются гипотезы потепления (похолодания) климата?
- 17. Кем составляются авиационно-климатические описания аэродромов и воздушных трасс?
- 18. По результатам наблюдений за какой период составляются авиационно-климатические описания?
- 19. Кем используются авиационно-климатические описания?
- 20. Какая информация включается в авиационно-климатические описания?

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Какие основные процессы влияют на климатообразование?
2. Что является географическими факторами климата?
3. Как влияет на климатообразование географическая широта (высота над уровнем моря, распределение суши и воды, орография поверхности суши, океанические течения, растительный, снежный, ледяной покров, хозяйственная деятельность общества)?
4. Что положено в основу классификации климатов В.Кеппена – Г.Треварта, (Л.С. Берга, Б.П. Алисова)?
5. Перечислить и охарактеризовать основные климатические зоны по классификации В.Кеппена – Г.Треварта, (Л.С. Берга, Б.П. Алисова).
6. К каким климатическим зонам относится климат Украины по классификации В.Кеппена – Г.Треварта, (Л.С. Берга, Б.П. Алисова)?
7. На какие климатические области с учетом грунтово-растительного покрова подразделяется климат равнинных частей территории Украины?
8. Какие климатические условия наблюдаются в Украинских Карпатах и Крымских горах?
9. Какие климатические условия наблюдаются на побережьях Черного и Азовского морей?
10. Какие климатические условия наблюдаются на Южном берегу Крыма?
11. Какие факторы приводят к изменению климата?
12. Каким образом на изменение климата влияют космические (астрономические, геологические, метеорологические и антропогенные) факторы?
13. Как изменилась глобальная температура воздуха относительно нормы во второй половине 19 столетия?

СОКРАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ МЕЖДУНАРОДНОЙ АЭРОНАВИГАЦИИ

АВ	– Арктический воздух
АД	– Аэрологическая диаграмма
АДВ	– Аэродромная диспетчерская вышка
АДК	– Аэрологическая диаграмма косоугольная
АДКТ	– Аэрологическая диаграмма косоугольная в теплое время года
АДКХ	– Аэрологическая диаграмма косоугольная в холодное время года
АДП	– Аэрологическая диаграмма прямоугольная
АКП	– Авиационные прогностические карты погоды
АМО	– Аэродромный метеорологический орган
АМРК	– Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс
АМСГ	– Авиационная метеорологическая станция гражданская
АМЦ	– Авиационный метеорологический центр
АС УВД	– Автоматизированная система управления воздушным движением
АП	– Авиационное происшествие
АТ	– Абсолютная топография
АФ	– Атмосферный фронт
БАМД	– Банк авиационных метеорологических данных
БПРМ	– Ближний приводной радиомаркер
БС	– Барическая система
БТ	– Барическая топография
ВГО	– Верхняя граница облачности
ВМ	– Воздушная масса
ВМО	– Всемирная метеорологическая организация
ВМУ	– Визуальные метеорологические условия
ВПП	– Взлетно-посадочная полоса
ВПР	– Высота принятия решения
ВРДЦ	– Вспомогательный районный диспетчерский центр
ВС	– Воздушное судно
ВСЗП	– Всемирная система зональных прогнозов
ВФ	– Вторичный фронт
ВФЗ	– Высотная фронтальная зона
ВЦЗП	– Всемирный центр зональных прогнозов
ГА	– Гражданская авиация

ГГС	– Громкоговорящая связь
ГМС	– Гидрометеорологическая станция
ГСН	– Глобальная система наблюдений
ГСОД	– Глобальная система обработки данных
ГСТ	– Глобальная система телесвязи ВМО
ДОП	– Диспетчерский орган подхода
ДПРМ	– Дальний приводной радиомаркер
ЕКГА	– Европейская конференция гражданской авиации
ИВО	– Измеритель высоты нижней границы облаков
КАВ	– Континентальный арктический воздух
КВС	– Командир воздушного судна
КТА	– Контрольная точка аэродрома
КТВ	– Континентальный тропический воздух
КУВ	– Континентальный умеренный воздух
ЛА	– Летательный аппарат
МАВ	– Морской арктический воздух
МДВ	– Метеорологическая дальность видимости
МИСЗ	– Метеорологический искусственный спутник Земли
МП	– Метеорологический пост
МРЛ	– Метеорологический радиолокатор
МТВ	– Морской тропический воздух
МУВ	– Морской умеренный воздух
НВМ	– Неустойчивая воздушная масса
НГО	– Нижняя граница облачности
НМО ГА	– Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации
НМС	– Национальная метеорологическая служба
НПП ГА	– Наставление по производству полетов в гражданской авиации
ОВД	– Обслуживание воздушного движения
ОВИ	– Огни высокой интенсивности
ОГ	– Оперативная группа
ОМИ	– Огни малой интенсивности
ОМС	– Орган метеорологического слежения
ОПВП	– Особые правила визуальных полетов
ОТ	– Относительная топография
ОЦА	– Общая циркуляция атмосферы
ПАГ	– Пеленгатор азимута гроз
ПВП	– Правила визуального пилотирования
ПВФЗ	– Планетарная высотная фронтальная зона
ПИО	– Полетно-информационное обслуживание

ПМЗА	– Правила метеорологического обеспечения авиации (Правила метеорологичного забезпечення авіації)
ПМУ	– Простые метеорологические условия
ПП	– Подстилающая поверхность
ППП	– Правила полетов по приборам
РВО	– Регистратор высоты нижней границы облаков
РДЦ	– Районный диспетчерский центр
РЛС	– Радиолокационная станция
РЛЭ	– Руководство по летной эксплуатации
РМС	– Радиолокационная метеорологическая станция
РПИ	– Район полетной информации
PCMЦ	– Региональный специализированный метеорологический центр
РТС	– Радиотехнические средства
СА	– Стандартная атмосфера
САИ	– Служба аэронавигационной информации
СМУ	– Сложные метеорологические условия
СНГ	– Содружество независимых государств
СТ	– Струйное течение
СФ	– Стационарный фронт
ТВ	– Теплый воздух
ТВД	– Турбовинтовой двигатель
ТПП	– Теплая подстилающая поверхность
ТРД	– Турбореактивный двигатель
ТФ	– Теплый фронт
ТФО	– Теплый фронт окклюзии
ТЯН	– Турбулентность при ясном небе
УАМЦ	– Украинский авиационный метеорологический центр
УВ	– Умеренный воздух (воздух умеренных широт)
УВД	– Управление воздушным движением
УВМ	– Устойчивая воздушная масса
ФО	– Фронт окклюзии
ХВ	– Холодный воздух
ЭВ	– Экваториальный воздух
ХПП	– Холодная подстилающая поверхность
ХФ	– Холодный фронт
ХФО	– Холодный фронт окклюзии
ЦПИ	– Центр полетной информации
Ас	– Высоко-кучевые облака (Altocumulus)
ACC	– Районный диспетчерский центр (Area control center)

ACI	– Циркуляр аэронавигационной информации (Aeronautical information publication)
AFI	– Регион Африки и Индийского океана (регион ICAO) [Africa – Indian Ocean (ICAO region)]
AFS	– Авиационная фиксированная служба (Aeronautical fixed service)
AFTN	– Авиационная фиксированная сеть электросвязи (Aeronautical fixed telecommunication network)
AIP	– Сборник аэронавигационной информации (Aeronautical information publication)
AIREP	– Донесение с борта ВС по форме, предписанной ICAO (Air report)
AIRMET	– Выпускаемая органом метеорологического слежения информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту полета, которые могут повлиять на безопасность полетов ВС на низких уровнях и которые не были уже включены в прогноз, составленный для полетов на низких уровнях в соответствующем районе полетной информации или его субрайоне (Airman's meteorological information)
AIS	– Пункт предполетного обслуживания аэронавигационной информацией (Aeronautical information services)
ARFOR	– Зональный прогноз (Area forecast)
ARP	– Регулярное донесение с борта ВС (AIREP)
ARS	– Специальное донесение с борта ВС (AIREP SPECIAL)
As	– Высоко-слоистые облака (Altostratus)
ASHTAM	– Сообщение для пилота о вулканической деятельности
ASIA	– Азиатский регион ICAO
ATC	– Управление воздушным движением (Air traffic control)
ATIS	– Служба автоматической передачи информации в районе аэропорта (Automatic terminal information service)
ATM	– Организация воздушного движения (Air traffic management)
ATS	– Орган обслуживания воздушного движения (Air traffic services)
BECMG	– Буквенный индикатор, обозначающий характер изменения погоды: ожидаются устойчивые изменения метеоусловий (Becoming)
BKN	– Значительная облачность (Broken)
CAR	– Карибский и Центральноамериканский регион (Caribbean and central America)

CAT	– Турбулентность при ясном небе (Clear air turbulence)
CAVOK	– Индикатор благоприятной погоды [Ceiling (cloud) and visibility o'key]
CAeM	– Комиссия по авиационной метеорологии (ВМО) [Commission for aeronautical meteorology (WMO)]
Cb	– Кучево-дождевые облака (Cumulonimbus)
Cc	– Перисто-кучевые облака, (Cirrocumulus)
Ci	– Перистые облака (Cirrus)
CIDIN	– Система обмена информацией ICAO
CNOCL0	– Буквенный индикатор, которым заменяется группа состояния ВПП, если аэродром закрыт в связи с экстремальными снежными осадками
Cs	– Перисто-слоистые облака (Cirrostratus)
Cu	– Кучевые облака (Cumulus)
Cu cong	– Мощно-кучевые облака(Cumulus congestus)
EUMETSAT	– Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников (European organization for the exploitation of meteorological satellites)
EUR	– Европейский регион ICAO (European ICAO region)
EURO	– Код карты Европейского региона ICAO (European)
FEW	– Незначительная облачность (мало)
FIR	– Район полетной информации (flight information region)
FIZ	– Зона полетной информации (Flight information zone)
FL	– Уровень полета, эшелон (Flight level)
Fr nb	– Разорванно-дождевые облака (Fractonimbus)
Fr st	– Разорванно-слоистые облака (Fractostratus)
FT	– Фути (feet)
GAMET	– Зональный прогноз для полетов на малых высотах
GRIB	– Бинарный код ВМО для передачи данных в узлах регулярной сетки [Gridden binary code (WMO)]
GTS	– Глобальная система телесвязи [Global telecommunication system (WMO)]
IATA	– Международная ассоциация воздушного транспорта (International air transport association)
ICAO	– Международная организация гражданской авиации (International civil aviation organization)
IFR	– Правила полетов по приборам (Instrument flight rules)
INTELSAT	– Международная организация спутниковой связи (International telecommunication satellite organization)
ISCS	– Международная система спутниковой связи (International satellite communication system)

MDD	– Распространение метеорологических данных (Meteorological date distribution)
MET REPORT	– Местная регулярная сводка о фактической погоде
METAR	– Кодовая форма ВМО для передачи регулярных сводок о фактической погоде (Meteorological aviation routine weather report)
MID	– Ближневосточный регион ICAO [Middle East (ICAO region)]
MOR	– Метеорологическая оптическая дальность видимости (Meteorological optical range)
NAM	– Североамериканский регион ICAO [North America (ICAO region)]
NAT	– Североатлантический регион ICAO [North Atlantic (ICAO region)]
NCD	– Наличие облачности не определено (no cloud detected)
NDV	– Видимость без указания направления (non directional variations)
Ns	– Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus)
NSC	– Нет существенных облаков (no significant cloud)
NSW	– Нет особых явлений погоды (no significant weather)
NOSIG	– Буквенный индикатор, обозначающий характер изменения погоды: нет существенных изменений (no significant change)
NOTAM	– Сообщение для пилотов (Notice to airmen)
OPMET	– Оперативная метеорологическая информация (Operational meteorological information)
OVC	– Сплошная облачность (Overcast)
PAC	– Тихоокеанский регион ICAO [Pacific (ICAO region)]
QFE	– Кодовое обозначение давления на уровне аэродрома или порога ВПП [Question field elevation – field elevation pressure (Q – code)]
QFF	– Атмосферное давление, приведенное к среднему уровню моря
QNE	– Кодовое обозначение стандартного атмосферного давления по стандартной атмосфере [Question normal elevation – standard pressure /1013 hpa/ (Q – code)]

QNH	<ul style="list-style-type: none"> – Кодовое обозначение давления, приведенного к среднему уровню моря по условиям стандартной атмосферы [Question normal height – sea level pressure (Q – code)] 	TCAC	<ul style="list-style-type: none"> – Консультативный центр по тропическим циклонам (Tropical cyclone advisory centre)
RDOACT CLD	<ul style="list-style-type: none"> – Радиоактивное облако (Radioactive cloud) 	TEMPO	<ul style="list-style-type: none"> – Буквенный индикатор, обозначающий характер изменения погоды: временные изменения (Temporary)
RETIM	<ul style="list-style-type: none"> – Спутниковая система Франции 	TMA	<ul style="list-style-type: none"> – Терминальный диспетчерский район (Terminal control area)
RNAU	<ul style="list-style-type: none"> – Зональная навигация (Area navigation) 	UAC	<ul style="list-style-type: none"> – Районный диспетчерский центр верхнего воздушного пространства (Upper area control center)
ROFOR	<ul style="list-style-type: none"> – Регулярный прогноз (Route forecast) 	UIR	<ul style="list-style-type: none"> – Верхний район полетной информации (Upper flight information region)
RVR	<ul style="list-style-type: none"> – Дальность видимости на ВПП (runway visual range) 	UTC	<ul style="list-style-type: none"> – Всемирное скоординированное время (Universal time coordinated)
SADIS	<ul style="list-style-type: none"> – Спутниковая система рассылки данных Всемирной системы зональных прогнозов (ВСЗП) [Satellite distribution system for WAFS (world area forecast system) products] 	VAAC	<ul style="list-style-type: none"> – Консультативный центр по вулканическому пеплу (Volcanic ash advisory centre)
SAM	<ul style="list-style-type: none"> – Южноамериканский регион ICAO [South America (ICAO region)] 	VAR	<ul style="list-style-type: none"> – Сводка о вулканической деятельности (Volcanic activity report)
Sc	<ul style="list-style-type: none"> – Слоисто-куевые облака (Stratocumulus) 	VFR	<ul style="list-style-type: none"> – Правила визуальных полетов (Visual flight rules)
SCT	<ul style="list-style-type: none"> – Отдельная облачность (Scattered) 	VOLMET	<ul style="list-style-type: none"> – Метеорологическая информация для ВС, находящихся в полете (Meteorological information for aircraft flight)
SKC	<ul style="list-style-type: none"> – Чистое небо (sky clear) 	WAFC	<ul style="list-style-type: none"> – Всемирный центр зональных прогнозов (ВЦЗП) (World area forecast centre)
SIGMET	<ul style="list-style-type: none"> – Выпускаемая органом метеорологического слежения информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту полета, которые могут повлиять на безопасность полетов ВС (Significant meteorological information) 	WAFS	<ul style="list-style-type: none"> – Всемирная система зональных прогнозов (ВСЗП) (World area forecast system)
SIGWX	<ul style="list-style-type: none"> – Особые явления погоды (карты, прогнозы) [Significant weather (charts, forecasts)] 	WINTEM	<ul style="list-style-type: none"> – Данные ВСЗП о ветре и температуре воздуха на высотах (WAWS wind and temperature date)
SPECI	<ul style="list-style-type: none"> – Кодовая форма ВМО для передачи специальных метеорологических сводок о фактической погоде (Aviation selected special weather report) 	WMO	<ul style="list-style-type: none"> – Всемирная метеорологическая организация (World meteorological organization)
SPECIAL	<ul style="list-style-type: none"> – Местная специальная сводка о фактической погоде 		
St	<ul style="list-style-type: none"> – Слоистые облака (Stratus) 		
SWH	<ul style="list-style-type: none"> – Карта особых явлений погоды (высокий уровень) [Significant weather chart (high level)] 		
SWL	<ul style="list-style-type: none"> – Карта особых явлений погоды (нижний уровень) [Significant weather chart (low level)] 		
SWM	<ul style="list-style-type: none"> – Карта особых явлений погоды (средний уровень) [Significant weather chart (medium level)] 		
TAF	<ul style="list-style-type: none"> – Кодовая форма ВМО для передачи прогнозов погоды по аэродрому (Terminal aerodrome forecast) 		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов В.С. Короткий курс загальної метеорології. Навчальний посібник. – Чернівці: Рута, 2004. – 336 с.
2. Астапенко П.Д. Баранов А.М., Шварев И.М. Авиационная метеорология. Учебное пособие. – М: Транспорт, 1985. – 262 с.
3. Баранов А.М. Видимость в атмосфере и безопасность полётов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 206 с.
4. Баранов А.М. Облака и безопасность полетов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 232 с.
5. Баранов А.М., Богаткин О.Г., Говердовский В.Ф., Еникеева В.Д. Авиационная метеорология. Учебник. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1972. – 318 с.
6. Баранов А.М., Лещенко Г.П., Белоусова Л.Ю. Авиационная метеорология и метеорологическое обеспечение полетов. Учебник. – М.: Транспорт, 1993. – 287 с.
7. Богаткин О.Г., Тараканов Г.Г. Авиационные прогнозы погоды. Учебное пособие. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2003. – 164 с.
8. ДОС 7192-AN/857. Руководство по обучению. Часть F-1. Метеорология для диспетчеров УВД и пилотов. Издание первое. – Монреаль: ICAO, 2002.
9. ДОС 9328-AN/908. Руководство по практике наблюдения за дальностью видимости на ВПП и передачи сообщений о ней. Издание второе. – Монреаль: ICAO, 2000. – 85 с.
10. Здорик Ю.М., Распутиков А.С. Погода и условия полетов в горах. – М.: Изографус, 2003. – 360 с.
11. Иоффе М.М., Приходько М.Г. Справочник авиационного метеоролога. – М.: Воениздат, 1977. – 304 с.
12. Киселев В.И., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы). Учебник. – Санкт-Петербург: РГТМУ, 2004. – 429 с.
13. Клімат України /За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К: Видавництво Раєвського, 2003. – 342 с.
14. Лещенко Г.П. Авиационная метеорология. Учебное пособие. – Кировоград: КВЛУГА, 1991. – 494 с.
15. Лещенко Г.П. Авиационная метеорология: вопросы и ответы. Учебное пособие, изд. 2-е. – Кировоград: ПП Центр оперативной полиграфии «Авангард», 2007. – 116 с.
16. Лещенко Г.П., Иньков Б.К. Эффективность визуальных и инструментальных наблюдений за грозами. – Л.: Гидрометеоиздат, Труды ГГО, № 401, 1980. – с. 29-34.
17. Лещенко Г.П., Перцель Г.В., Иванова Е.Г. Метеорологическое обеспечение полетов: Учебное пособие, (изд. 2-е, перераб. и доп.). – Кировоград: ГЛАУ, 2007. – 208 с.
18. Лещенко Г.П. Метеорологія з основами кліматології: Навчальний посібник. – Кировоград: ПП Центр оперативной полиграфии «Авангард», 2007. – 200 с.
19. Лещенко Г.П., Перцель Г.В., Коренной С.Н. Измерение температуры, влажности воздуха и атмосферного давления. – Учебное пособие. – Кировоград: ГЛАУ, 2007. – 68 с.
20. Мазуров Г.И., Нестерук В.Н. Метеорологические условия и полеты вертолетов. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. – 254 с.
21. Маклеод Дж.К. Обнаружение и прогнозирование вулканического пепла. – Санкт-Петербург: Новые тенденции в гидрометеорологии, вып. 4, 1998. – с.84-89.
22. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Учебник, изд. 3-е, перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2000. – 778 с.
23. Маховер З.М., Наровлянский Г.Я., Солонин С.В. Метеорологические условия на международных воздушных трассах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 218 с.
24. Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Приложение 3 к Конвенции о Международной гражданской авиации. – Монреаль: ICAO, издание шестнадцатое, июль, 2007.
25. Наровлянский Г.Я. Авиационная климатология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 266 с.
26. Наставление по кодам, том 1. Сборник № 306, ВМО (с учетом Дополнения № 4 от августа 2003).
27. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НППГА-85). – М.: Воздушный транспорт, 1985. – 254 с.
28. Порядок прийняття рішення на виліт та приліт повітряних суден цивільної авіації України за правилами польотів за приладами. – Київ: Наказ Державаслужби України від 28 квітня 2005 р., № 295.

29. Правила метеорологічного забезпечення авіації. – Київ:
Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням
безпеки авіації, Міністерства охорони навколишнього
природного середовища України, Міністерства оборони
України від 14 листопада 2005, № 851/409/661.
30. Приборы и установки для метеорологических измерений на
аэродромах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981.
31. Приходько М.Г. Справочник инженера-синоптика. – Л.:
Гидрометеоиздат, 1986. – 328 с.
32. Прох Л.З. Словарь ветров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 311 с.
33. Руководство по прогнозированию метеорологических условий
для авиации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 302 с.
34. Тараканов Г.Г. Тропическая метеорология. – Л.: Гидрометео-
издат, 1980. – 175 с.
35. Унифицированный допуск к аeronавигационному информа-
ционному и метеорологическому обслуживанию, связанному
с предполетным планированием. – ICAO EUR DOC 010,
2000.
36. Хромов С.П. Метеорология и климатология для
географических факультетов. Учебник, изд 2-е. – Л.:
Гидрометеоиздат, 1968. – 491 с.
37. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. –
Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 568 с.
38. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология:
Учебник, изд. 6-е. – М.: Изд-во “Колос С”, 2004. – 582 с.
39. Яковлев А.М. Авиационная метеорология. Учебное пособие. –
Л.: ВАУГА, 1966. – 344 с.

Учебное издание

Лещенко Григорий Павлович

Авиационная метеорология
Учебник для высших учебных
заведений

Компьютерная верстка: В.В. Флакей

Подписано к печати .2009

Формат 60 x 84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. листов . Учет. изд.

Зак. № Тираж экз.



Издательство ГЛАУ. г. Кировоград,
ул. Добровольского, 1
тел. 394-437