

## СОДЕРЖАНИЕ

|  | <i>Стр.</i> |
|--|-------------|
| ГЛАВА 15. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЛАКАМИ.....  | 544         |
| 15.1 Общие сведения .....  | 544         |
| 15.1.1 Определения .....   | 544         |
| 15.1.2 Единицы и шкалы .....   | 546         |
| 15.1.3 Метеорологические требования .....  | 546         |
| 15.1.4 Методы наблюдения и измерения .....   | 546         |
| 15.1.4.1 Количество облаков .....  | 546         |
| 15.1.4.2 Высота нижней границы облаков.....  | 547         |
| 15.1.4.3 Тип облаков .....   | 547         |
| 15.2 Оценка и наблюдения за количеством, высотой нижней границы и<br>видами облаков, осуществляемые наблюдателем ..... | 547         |
| 15.2.1 Проведение эффективной оценки .....   | 547         |
| 15.2.2 Оценка количества облаков .....   | 547         |
| 15.2.3 Оценка высоты нижней границы облаков .....  | 548         |
| 15.2.4 Наблюдение за видами облаков .....  | 550         |
| 15.3 Инструментальные измерения количества облаков.....  | 550         |
| 15.3.1 Использование лазерных облакомеров.....   | 550         |
| 15.3.2 Использование пирометров.....   | 551         |
| 15.3.3 Использование камер обзора небосвода .....  | 552         |
| 15.4 Инструментальные измерения высоты нижней границы облаков .....  | 552         |
| 15.4.1 Использование лазерного облакомера .....  | 552         |
| 15.4.1.1 Метод измерения .....   | 552         |
| 15.4.1.2 Размещение и установка .....  | 554         |
| 15.4.1.3 Источники погрешностей .....  | 554         |
| 15.4.1.4 Калибровка и техническое обслуживание .....   | 555         |
| 15.4.2 Использование прожектора с вращающимся лучом .....  | 555         |
| 15.4.2.1 Метод измерения .....   | 555         |
| 15.4.2.2 Размещение и установка .....  | 556         |
| 15.4.2.3 Источники погрешностей .....  | 556         |
| 15.4.2.4 Калибровка и техническое обслуживание .....   | 556         |
| 15.4.3 Использование облачного прожектора .....  | 557         |
| 15.4.3.1 Метод измерения .....   | 557         |
| 15.4.3.2 Размещение и установка .....  | 557         |
| 15.4.3.3 Источники погрешностей .....  | 557         |
| 15.4.3.4 Калибровка и техническое обслуживание .....   | 558         |
| 15.4.4 Использование шара-пилота .....   | 559         |
| 15.4.4.1 Метод измерения .....   | 559         |
| 15.4.4.2 Источники погрешности .....   | 559         |
| 15.5 Инструментальное измерение форм облаков.....  | 559         |
| 15.6 Другие особенности, связанные с облаками .....  | 560         |
| 15.6.1 Вертикальная видимость.....   | 560         |
| СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....   | 561         |

## ГЛАВА 15. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОБЛАКАМИ

### 15.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Наблюдения за облаками и оценка или измерение высоты их нижней границы над земной поверхностью важны для решения самых разнообразных задач, и, в частности, находят применение в авиации и оперативной метеорологической практике. В этой главе описываются широко распространенные методы. Важная дополнительная информация представлена в публикациях ВМО (WMO, 1975, 1987), которые содержат научные описания облаков и иллюстрации, используемые при определении форм облаков. Информация по практикам, применяемым в авиационной метеорологии, приведена в публикации ВМО (2014).

#### 15.1.1 Определения

*Облако:* различимая с места проведения наблюдений совокупность мельчайших капель воды, кристаллов льда или того и другого вместе, нижняя граница которой находится над поверхностью Земли. Предельный диаметр жидких частиц составляет порядка 200 мкм; более крупные капли представляют собой морось или дождь.

За исключением некоторых редких типов (например, перламутровые или серебристые облака) и случайного появления перистых облаков в нижней стратосфере, облака не выходят за пределы тропосферы. Как правило, они образуются в результате конденсации водяного пара на ядрах конденсации в атмосфере. Образование облака происходит во время вертикального движения воздуха, при конвекции, при вынужденном подъеме над возвышенностью или при широкомасштабном вертикальном движении, связанном с депрессиями и фронтами. Облака могут образовываться при определенных значениях вертикального градиента температуры и влажности в результате турбулентности нижних слоев атмосферы и других менее значимых причин. Такие виды деятельности человека, как авиация или промышленность, также могут привести к образованию облаков путем увеличения ядер конденсации в атмосфере.

При температурах ниже 0 °С облачные частицы зачастую состоят полностью из капель воды, переохлажденных приблизительно до –10 °С в случае слоистых облаков и приблизительно до –25 °С в случае конвективных облаков. При температурах ниже этих весьма приблизительных предельных значений и выше примерно –40 °С множество облаков являются «смешанными» с преобладанием ледяных кристаллов в нижней части указанного диапазона температур.

*Количество облаков:* часть неба, по оценкам, покрытая облаками определенного типа (частичное количество облаков) или облаками всех типов (общее количество облаков). В любом случае оценка производится с точностью до ближайшего октанта (восьмая часть) и сообщается в масштабе, который по существу является одним из ближайших значений восьмой части, за исключением того, что цифры 0 и 8 на шкале обозначают совершенно чистое или полностью покрытое облаками небо, соответственно, при условии дальнейшего согласования с другими цифрами, указанными на любом конце шкалы.

*Нижняя граница облаков:* самая нижняя зона, в которой ухудшение видимости, соответствующее изменению состояния атмосферного воздуха от чистого воздуха или дымки до водяных капель или кристаллов льда, вызывает существенное изменение в профиле коэффициента угасания обратного рассеяния. В воздухе непосредственно под облачностью для частиц, вызывающих помутнение, характерна некоторая спектральная избирательность, в то время как в самом облаке избирательности фактически не наблюдается; различие обуславливается наличием капель разного размера. Высота

нижней границы облаков определяется как высота над уровнем земной поверхности. Для авиационных метеорологических станций уровень (земной) поверхности определяется как официальная высота аэродрома.

*Тип облаков (классификация):* применяются различные методы классификации облаков, в частности:

- a) В публикации ВМО (WMO, 1975) вся совокупность облаков подразделяется на десять основных характерных форм с дальнейшим подразделением в соответствии с требованиями на:
  - i) виды облаков (форма облака и структура);
  - ii) разновидности облаков (расположение облака и его прозрачность);
  - iii) дополнительные характерные особенности и разновидности облаков (например, *incus*,  *mamma*, *virga*, *praecipitatio*, *arcus*, *tuba*, *pileus*, *velum* и  *pannus*);
  - iv) развитие нового вида облака из материнского облака обозначается с помощью добавления «*genitus*» к названию нового облака и рода материнского облака в том случае, если небольшая часть материнского облака претерпевает изменения, а в тех случаях, когда все облако или значительная его часть изменяются, к названию прибавляется «*mutatus*» (например, *stratocumulus cumulogenitus* или *stratus stratocumulomutatus*).
- b) Классификация производится по высоте облаков и в соответствии с высотой облака подразделяются на уровни (ярусы) — верхний, средний или нижний — на которых различные виды облаков обычно пересекаются. В умеренных регионах предельные значения приблизительно следующие: верхний ярус, 6–12 км (20 000–40 000 футов); средний ярус, 0–6 км (0–20 000 футов); нижний ярус, 0–1,5 км (0–5 000 футов). Формы облаков верхнего яруса — *Cirrus*, *Cirrocumulus* и *Cirrostratus*; среднего яруса — *Alto cumulus* и *Altostratus* (последние часто распространяются выше), а также *Nimbostratus* (обычно распространяются как выше, так и ниже); к облакам нижнего яруса относятся *Stratocumulus*, *Stratus*, *Cumulus* и *Cumulonimbus* (последние два вида нередко также достигают среднего и верхнего ярусов).

В синоптических целях была разработана девятикодовая классификация облаков по каждому из этих трех подразделений видов облаков, где соответствующие коды обозначаются как  $C_H$ ,  $C_M$  и  $C_L$  в указанном порядке. Целью этой классификации является описание характерного состояния неба, а не отдельных видов облаков;

- c) существуют также следующие менее формализованные классификации:
  - i) основанная на физических процессах образования облаков и подразделяющая облака на кучевые и слоистые (или «расслоенные»);
  - ii) основанная на структуре облаков и подразделяющая облака на кристаллические, жидкокапельные и смешанные.

Фотографии большей части этих форм облаков представлены в публикации ВМО (WMO, 1987).

*Вертикальная видимость:* максимальное расстояние, на котором наблюдатель может видеть и распознавать объект, расположенный на одной вертикали с собой, выше или ниже. Вертикальная видимость может быть рассчитана на основании измеренного профиля ослабления  $\sigma(h)$ , как описано в публикации ВМО (2010). Однако это отношение является менее простым, чем для расчета горизонтальной видимости, т. к.  $\sigma$  может не рассматриваться как постоянная величина. Тем не менее может применяться правило  $I(h = VV)/I_0 = 5\%$ . Принимая во внимание это предположение, вертикальная видимость может быть выражена по отношению к  $\sigma(h)$ , где  $VV$  представлена непрерывно, т. е.:

$$\int_{h=0}^{h=VV} \sigma(h) dh = -\ln(5\%) \approx 3 \quad (15.1)$$

См. также часть II, глава 2, уравнения 2.6 и 2.7.

### 15.1.2 Единицы и шкалы

В качестве единицы измерения высоты облаков используется метр или, для некоторых аэронавигационных применений, фут. Единицей измерения количества облаков является октант, т. е. одна восьмая часть небосвода, покрытая облаками.

### 15.1.3 Метеорологические требования

Для метеорологических целей необходимы наблюдения за количеством, формой и высотой нижней границы облаков. Для проведения наблюдений в синоптических целях в публикации ВМО (2011) приведены конкретные требования по кодированию, предназначенные для оптимального описания состояния облаков от поверхности до верхних уровней. Из космического пространства проводятся наблюдения за количеством облаков и температурой (на основании чего производится расчет высоты верхней границы облака). Измерения из космоса также могут быть использованы для наблюдения за развитием облачности и погоды.

Требования к точности изложены в части I, глава 1, приложение 1.Е.

### 15.1.4 Методы наблюдения и измерения

#### 15.1.4.1 Количество облаков

Традиционно измерение количества облаков проводится посредством визуального наблюдения. Инструментальные методы в настоящее время широко приняты и используются в оперативной практике для многих применений при определении количества и высоты облаков. Определяется количество облаков в каждом конкретном слое и общее количество облаков, обозримое с пункта наблюдения.

Общее количество облаков, или общая облачность, определяется как часть небосвода, покрытая всеми видимыми облаками. Следовательно, оценка общего количества облаков состоит в оценке того, какая часть общей видимой площади небосвода покрыта облаками.

Частичное количество облаков представляет собой часть площади небосвода, покрытую облаками одного вида или слоем облаков, как если бы это был единственный тип облачности на небе. Сумма частичного количества облаков может превышать общее количество облаков и восемь октантов.

Для записи количества облаков используется шкала, предлагаемая в кодовой таблице 2700 публикации ВМО (2011), которая приводится ниже:

| Кодовая цифра |                              | Значение                    |
|---------------|------------------------------|-----------------------------|
| 0             | 0                            | 0                           |
| 1             | 1 окта или менее, но не 0    | 1/10 или менее, но не 0     |
| 2             | 2 окты                       | 2/10–3/10                   |
| 3             | 3 окты                       | 4/10                        |
| 4             | 4 окты                       | 5/10                        |
| 5             | 5 окт                        | 6/10                        |
| 6             | 6 окт                        | 7/10–8/10                   |
| 7             | 7 окт или более, но не 8 окт | 9/10 или более, но не 10/10 |
| 8             | 8 окт                        | 10/10                       |

- 9 Небо не видно из-за тумана и/или других метеорологических явлений  
/  
Облачный покров неразличим по причинам, не связанным с наличием тумана или другими метеорологическими явлениями, либо наблюдение не производилось

#### 15.1.4.2 **Высота нижней границы облаков**

Высота нижней границы облаков может определяться посредством инструментального измерения, которое сейчас широко используется там, где высота облачности имеет большое оперативное значение. Однако оценка высоты нижней границы облаков, производимая наблюдателем, по-прежнему остается широко распространенной.

В данной главе описаны несколько типов приборов, которые используются в оперативной практике в настоящее время. Международное сравнение нескольких типов приборов проводилось ВМО в 1986 г., и его результаты изложены в публикации ВМО (WMO, 1988). В этой публикации содержится полный отчет о точности измерений и рабочих характеристиках приборов.

Инструментальное измерение высоты нижней границы облаков применяется в обычной практике и имеет важное значение для авиационных метеорологических служб. Этот вопрос дополнительно рассматривается в части II, глава 2.

#### 15.1.4.3 **Тип облаков**

В настоящее время единственным методом наблюдений за большинством форм облаков является визуальное наблюдение. Иллюстрированные руководства и информация по кодированию доступны в многочисленных источниках, таких как публикации ВМО (WMO, 1975; 1987), а также в публикациях национальных метеорологических служб.

## 15.2 **ОЦЕНКА И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КОЛИЧЕСТВОМ, ВЫСОТОЙ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ И ВИДАМИ ОБЛАКОВ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ НАБЛЮДАТЕЛЕМ**

### 15.2.1 **Проведение эффективной оценки**

Место, используемое при оценке переменных характеристик облачности, должно обеспечивать максимально широкий обзор небосвода. Это место должно быть удалено от постоянного источника освещения, который может повлиять на наблюдения в темное время суток. При проведении наблюдений в темное время суток большое значение для наблюдателя имеет достаточный период времени, необходимый для привыкания глаз к темноте.

Естественно, что при оценке количества облаков существуют определенные трудности, особенно в темное время суток. Последовательные наблюдения за развитием облачности и общие представления о ее структуре помогают наблюдателю достичь наилучших возможных результатов. По возможности могут быть также использованы сообщения с самолетов.

### 15.2.2 **Оценка количества облаков**

Наблюдатель должен в равной мере изучить участки как над пунктом наблюдения, так и на более низких углах возвышения. В тех случаях, когда облака беспорядочно разбросаны,

целесообразно представить небо в форме отдельных квадрантов, разделенных диаметрами, проведенными под прямым углом друг к другу. Сумма оценок для каждого квадранта принимается как общая для всего неба.

Кодовая цифра 9 используется в тех случаях, когда небо закрыто туманом, падающим снегом и т. д., либо когда наблюдатель не может дать оценку количества облаков вследствие темноты или постороннего освещения. В безлунные ночи обычно представляется возможным дать оценку общего количества облаков, определив, в какой части неба звезды затуманены или полностью закрыты облаками, хотя у линии горизонта звезды может затмевать мгла.

Наблюдатель также должен давать оценку частичному количеству облаков. Случается, например, что более высокий слой облаков частично закрыт более низкими облаками. В таких случаях оценка протяженности вышележащих облаков может быть произведена довольно уверенно при наблюдении за небом в течение короткого периода времени в дневное время. Движение более низкого облака относительно более высокого позволяет выяснить, покрывает ли более высокий слой небо полностью или наблюдаются разрывы.

Следует отметить, что оценка количества каждого отдельного типа облаков производится независимо от оценки общего количества облаков. Сумма отдельных оценок частичного количества облаков часто превышает как общее количество облаков, так и восемь восьмых частей небосвода.

### 15.2.3 Оценка высоты нижней границы облаков

На тех станциях, где измерительное оборудование отсутствует, может выводиться лишь оценочное значение высоты нижней границы облаков. В горной местности высота нижней границы любого облака, которая меньше высоты окружающих станцию гор, может быть оценена посредством сравнения с высотой характерных топографических особенностей, указанных на контурных картах района. Целесообразно иметь для постоянного отображения данных подробную схему высоты и местоположения холмов и наземных ориентиров, которые могут быть использованы при оценке высоты облаков. В силу эффекта перспективы наблюдателю может казаться, что облако лежит на удаленных холмах, но это не обязательно означает, что таким образом можно определить высоту облаков над наблюдаемым участком. В любых обстоятельствах наблюдатель должен произвести надлежащую оценку, принимая во внимание формы и общий вид облаков.

Диапазоны высоты нижней границы облаков над поверхностью, применимые к различным родам облаков в регионах умеренной зоны, представлены в таблице ниже и соответствуют станциям, высота которых не превышает 150 м (500 футов) над средним уровнем моря. Для наблюдательных площадок на значительно больших высотах или для станций в горной местности высота нижней границы облаков нижнего яруса над станциями часто может быть меньше, чем указано в нижеприведенной таблице.

В других климатических зонах, особенно в засушливых тропических условиях, высота нижней границы облаков может значительно отклоняться от указанных диапазонов. Различия могут привести к возникновению проблем при классификации облаков и усложнить задачу по оценке их высоты. Так, например, обстоит дело в случае, когда сводки о тропических кучевых облаках явно конвективного происхождения с высотой нижней границы значительно более 2 400 м (8 000 футов) или даже 3 600 м (12 000 футов) были подтверждены наблюдениями с самолета. Следует отметить, что в таких случаях наземные наблюдатели часто в значительной степени недооценивают высоту облаков. Такая недооценка может быть обусловлена двумя факторами, а именно: наблюдатель исходит из того, что кучевое облако является облаком нижнего яруса с высотой нижней границы менее 2 000 м (6 500 футов), или, как правило, менее 1 500 м (5 000 футов), либо атмосферные условия и форма облака в сочетании дают оптическую иллюзию.

В тех случаях, когда непосредственная оценка высоты нижней границы облаков производится в ночное время, результаты в значительной степени зависят от правильной

идентификации формы облаков. Общие метеорологические знания и тщательное наблюдение за погодой играют очень важную роль, когда наблюдатель должен сделать заключение о том, осталось ли основание облака в значительной степени на прежней высоте, поднялось или опустилось. Особая тщательность и профессиональные навыки требуются от наблюдателя, когда слой высокослоистых облаков закрывает небо в вечернее время. Любое постепенное снижение такого слоя облаков часто очень трудно обнаружить; при этом основание редко бывает однородным, а небольшие контрасты зачастую могут быть обнаружены в любое время за исключением самых темных ночей.

**Высота нижней границы различных облаков над уровнем земной поверхности в умеренных районах**

| Вид облаков          | Обычный диапазон высоты нижней границы <sup>а</sup> |                    | Более широкий диапазон иногда наблюдаемых значений высоты нижней границы и прочие примечания  |                   |
|----------------------|---|--------------------|---|-------------------|
|                      | метры   | футы               | метры   | футы              |
| <b>Нижний ярус:</b>  |   |                    |   |                   |
| Слоистые             | Поверхность–600                                     | Поверхность–2 000  | Поверхность–1 200   | Поверхность–4 000 |
| Слоисто-кучевые      | 300–1 350   | 1 000–4 500        | 300–2 000   | 1 000–6 500       |
| Кучевые              | 300–1 500   | 1 000–5 000        | 300–2 000   | 1 000–6 500       |
| Кучево-дождевые      | 600–1 500   | 2 000–5 000        | 300–2 000   | 1 000–6 500       |
| <b>Средний ярус:</b> |   |                    |   |                   |
|                      | километры   |                    |   |                   |
| Слоисто-дождевые     | } Поверхность–3<br><br>2–6                          | Поверхность–10 000 | Слоисто-дождевые облака считаются облаками среднего яруса для синоптических целей, хотя они могут распространяться на другие уровни<br><br>Увеличение толщины высокослоистых облаков по мере уменьшения высоты их основания может привести к их трансформации в слоисто-дождевые облака |                   |
| Высоко-слоистые      |   | 6 500–20 000       |   |                   |
| Высоко-кучевые       |   |                    |   |                   |
| <b>Верхний ярус:</b> |   |                    |   |                   |
| Перистые             | } 6–12  | 20 000–40 000      | При диссипации кучево-дождевых облаков могут образовываться перистые облака на высоте значительно менее 6 км (20 000 футов) в зимнее время<br><br>Перисто-слоистые облака могут трансформироваться в высокослоистые   |                   |
| Перисто-слоистые     |   |                    |   |                   |
| Перисто-кучевые      |   |                    |   |                   |

Примечание:

а Для станций, расположенных на высоте более 150 м над уровнем моря, высота нижней границы облаков нижнего яруса часто бывает меньше указанной.



#### 15.2.4 **Наблюдение за видами облаков**

Наблюдение за видами облаков в большинстве случаев проводятся наблюдателем. Иллюстрированные руководства и информация по кодам имеются в многочисленных источниках, таких как публикации ВМО (WMO, 1975; 1987) и публикации национальных метеорологических служб.

### 15.3 **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ОБЛАКОВ**

Существуют оперативные наземные датчики различного типа для измерения общего количества облаков. Измерения, производимые со спутниковых радиометров в видимом диапазоне, дополненные инфракрасными изображениями, могут использоваться для оценки количества облаков над большими территориями, даже несмотря на то, что зачастую возникают трудности, связанные, например, с невозможностью отличить слоистые облака нижнего яруса от тумана. Количество облаков нижнего яруса в радиусе действия электронного облакомера может определяться посредством измерения времени прохождения хорошо идентифицированных слоев и при условии, что эти осредненные во времени результаты являются репрезентативными для условий пространства, окружающего наблюдательную площадку. Для решения задач синоптической метеорологии этот метод в большинстве случаев является подходящим, но для наблюдений на аэродромах его использование может привести к значительным ошибкам при оценке количества облаков над аэродромом. В США для автоматических метеорологических станций была разработана технология «накопления» с использованием данных электронных облакомеров. Другие страны, такие как Швеция (Larsson and Esbjörn, 1995) и Нидерланды (Wauben, 2002), внедрили аналогичные технологии для проведения оперативных измерений. Для измерения количества облаков используются другие приборы: пирометры, которые могут производить замеры во множестве фиксированных направлений и/или просканировать небосвод, и камеры обзора небосвода, специально разработанные для этих целей.

#### 15.3.1 **Использование лазерных облакомеров**

В некоторых метеорологических службах используются временные ряды высоты нижней границы облаков, измеренные с помощью лазерных облакомеров (см. раздел 15.4.1), для определения количества облаков. Этот метод имеет некоторые преимущества по сравнению с наблюдениями, выполняемыми персоналом. При использовании лазерного облакомера получаются более надежные результаты. Кроме того, измерения могут проводиться чаще и не зависеть от темного времени суток. Однако, имеются также некоторые недостатки и могут возникать существенные отклонения при наличии высоких тонких перистых облаков, когда эффективность работы облакомера снижается; когда влажный слой сообщается облакомером как нижняя граница облаков; когда облакомер не обнаруживает нижней границы облаков или неправильно определяет ее высоту во время осадков или когда облакомер сообщает высоту нижней границы облаков по самому низкому значению при стелющемся тумане. Этот метод применим к облакам, движущимся в поле обзора прибора. Облака не всегда движутся таким образом. Даже если облака движутся по всему полю видимости облакомера, они могут не присутствовать на всем небосводе. Таким образом, временные ряды нижней границы облаков не всегда могут представлять весь небосвод, на основе которого сообщаются данные по облачности. Совпадение (в пределах 2 октантов) между этим методом и неавтоматизированным измерением величины облачности обычно составляет 80–90 %, как было отмечено в отношении прибрежных станций в средних широтах (WMO, 2006a). Однако наибольшие различия могут быть обусловлены ограниченной пространственной репрезентативностью выборочного измерения облакомера лишь по небольшой площади непосредственно над местом его расположения.

Некоторые аэропорты оборудованы несколькими облакомерами и применяют алгоритм оценки состояния неба с использованием данных, поступающих с более, чем одного



облакомера. Однако проведение оценки в аэропорту продемонстрировало лишь незначительные улучшения при использовании трех облакомеров по сравнению с использованием одного (Wauben, 2002). Это указывает на то, что мониторинг в трех точках вместо одной по-прежнему не является достаточным для получения репрезентативного значения по всему небосводу.

В автоматизированной системе приземных наблюдений (АСПН) Национальной метеорологической службы США индикатор высоты облаков (лазерный облакомер — см. раздел 15.4.1) обобщает выборки отраженных сигналов обратного рассеяния каждые 30 секунд и определяет высоту действительных «точек отражения» от облаков. Каждую минуту, последние 30 минут 30-секундные данные обрабатываются для получения удвоенной взвешенной величины последних 10 мин с целью реагирования на последние изменения в состоянии небосвода. Затем данные сортируются по «накопителям данных о высоте отраженных сигналов».

Каждую минуту, в случае если зарегистрировано более пяти значений отраженных сигналов высоты (в течение последних 30 мин), значения высоты облаков группируются в слои с применением процедуры метода наименьших квадратов до тех пор, пока не останется только пять накопителей (каждый накопитель отраженных сигналов может содержать большое количество точек отражения). Данные «накопители» отраженных сигналов или кластеры затем распределяются от самой нижней до самой высшей точки. После кластеризации система АСПН определяет, могут ли кластеры быть объединены и округлены в зависимости от высоты в значимые для метеорологических задач группы высоты. В результате накопители, называемые теперь «слоями», выбираются алгоритмом до трех из этих слоев для передачи данных в коде METAR/SPECI в соответствии с национальными приоритетами передачи данных о слоях облачности.

Количество облачности определяется путем прибавления в каждый слой общего числа точек отражения и расчета соотношения данных совпадений к общему возможному. Если имеется более одного слоя, точки отражения в первом слое добавляются ко второму (и третьему) для получения общей картины облачности. В целях передачи данных количество облаков, измеренное с помощью системы АСПН для каждого слоя, затем конвертируется в статистическую функцию, эквивалентную проведению неавтоматизированного наблюдения.

Данный алгоритм также проверяет наличие облачности по всему небосводу, основываясь на критерии видимости нижних приземных слоев и высоком проценте «неизвестных точек отражения» в нижних слоях.

Алгоритм оценки состояния небосвода также был разработан для использования в тех случаях, когда формирование (или адвекция) облака обычно происходит в (или от) известном местоположении и приводит к значительной одновременной разнице в состоянии облачности над территорией аэропорта. Данный метеорологический изменяющийся алгоритм применяется для данных с двух сенсорных датчиков высоты облачности. Основным датчик устанавливается недалеко от зоны касания на пути действия основного прибора. Второй датчик обычно устанавливается на расстоянии от 3 до 6 км (2–4 миль) от основного датчика против ветра в наиболее вероятном направлении адвекции или ближе к постоянному источнику уникальных условий облачности. Второй датчик высоты облачности предназначен для оперативного определения значительных различий в состоянии облачности.

Дополнительные детали алгоритма оценки состояния облачности АСПН и его верификации предоставлены НУОА (NOAA, 1988) и правительством США (United States Government, 1999).

### 15.3.2 Использование пирометров

Пирометры, или пассивные инфракрасные радиометры, по сути, представляют собой инфракрасные термометры дистанционного зондирования (8–14 мкм). Они могут

использоваться для наблюдения элементарных телесных углов небосвода, используя для этих целей либо несколько фиксированных датчиков (например, четыре фиксированных датчика используются для осуществления выборки по всему небосводу), посредством сканирования всего небесного купола с помощью одного датчика, либо с помощью сочетания обоих методов (в схеме одного производителя предусмотрено 14 датчиков, охватывающих 180 градусов подъема от одного горизонта до противоположного горизонта, и физический механизм для сканирования по азимуту). Нисходящее тепловое излучение от облаков и от воздушного столба между облаками и прибором измеряется, а температура каждого телесного угла, включенного в выборку, рассчитывается на основе сочетания законов Планка и Стефана–Больцмана. Инфракрасная температура затем может использоваться для указания на присутствие облаков в каждом включенном в выборку телесном углу. Затем может быть рассчитана общая доля небосвода, покрытая облаками, которая может сообщаться как облачность.

Сканирующие пирометры исключают проблемы репрезентативности измерений, которые существуют в других методах, зависящих от количества исследуемых точек. Возможно также проведение измерений в темное время суток. Недостатком является трудность классификации фракционных и/или транспарантных «пикселей».

### 15.3.3 **Использование камер обзора небосвода**

Существуют камеры, которые специально разработаны для измерения количества облаков. С их помощью производятся наблюдения за небосводом, применяя, например, изогнутые зеркала. Изображение с камеры анализируется при помощи алгоритма, определяющего наличие облака в настоящее время в каждом пикселе, используя измеряемый цвет. Сумма всех пикселей определяет количество облаков.

Этот метод исключает проблемы репрезентативности измерений, которые могут присутствовать в некоторых других методах. Некоторые камеры используются в дневное время и, таким образом, не могут применяться в темное время суток. Камеры, производящие измерения в ИК-диапазоне, не имеют таких недостатков, но они обладают меньшим полем обзора и являются более дорогостоящими. Для таких камер необходимо часто проводить техническое обслуживание по очищению оптических поверхностей.

## 15.4 **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАКОВ**

Для измерения высоты нижней границы облаков используется несколько методов. К ним относятся: использование лазерного облакомера, прожектора с вращающимся лучом, облачного прожектора и шара-зонда. Наиболее часто в настоящее время применяется метод измерения с помощью лазерного облакомера. Эта методика обладает огромными преимуществами по сравнению с другими технологиями, и в этой связи ее следует рассматривать как наиболее подходящую.

### 15.4.1 **Использование лазерного облакомера**

#### 15.4.1.1 **Метод измерения**

При использовании лазерного облакомера высота нижней границы облаков определяется посредством измерения времени, необходимого для прохождения светового импульса когерентного света от источника до нижней границы облаков и возвращения к приемнику (принцип: определение и локализация с помощью источника света, лидар). Сигнал, излучаемый лазером, направляется вертикально вверх, где, если облачность располагается над источником света, излучение рассеивается гидрометеорами, составляющими облачность. Основная доля излучения рассеивается вверх, но некоторая ее часть рассеивается вниз и фокусируется на фотоэлектрическом детекторе приемника.

Лучевой поток, обратно рассеиваемый на приемник, уменьшается в зависимости от дальности в соответствии с законом обратных квадратов. Облакомер (рисунок 15.1) обычно состоит из двух узлов — приемо-передатчика «в сборке» и записывающего устройства.

Передатчик и приемник устанавливаются рядом в одном помещении с электронной аппаратурой по детектированию и обработке сигналов. Источником света обычно является полупроводниковый лазер с длиной волны, близкой к инфракрасной. Оптические устройства передатчика располагаются таким образом, что лазерный источник и детектор приемника находятся в фокусе условной или ньютоновской телескопической системы. На поверхности линз наносится соответствующее покрытие толщиной в одну четверть длины волны с целью уменьшения отражения и обеспечения высокого уровня пропускания света. Апертура передатчика герметично закрывается стеклянным окошком, которое имеет антиотражательное покрытие на внутренней поверхности и устанавливается под углом для стекания дождевой воды.

Приемник имеет ту же конструкцию, что и передатчик, однако вместо источника света в него входит фотодиод, а также встроенный узкополосный оптический фильтр. Фильтр не пропускает большую часть фонового рассеянного солнечного излучения, облегчая, таким образом, обнаружение рассеянного лазерного излучения в светлое время суток.

Излучатель и приемник могут быть установлены рядом таким образом, чтобы пучок света излучателя и поле зрения приемника начинают совмещаться на высоте около 5 м над устройством и полностью совмещаются на высоте нескольких сот метров. Такие же оптические устройства применяются в некоторых системах для передачи и получения излучения, что позволяет избежать этой проблемы.

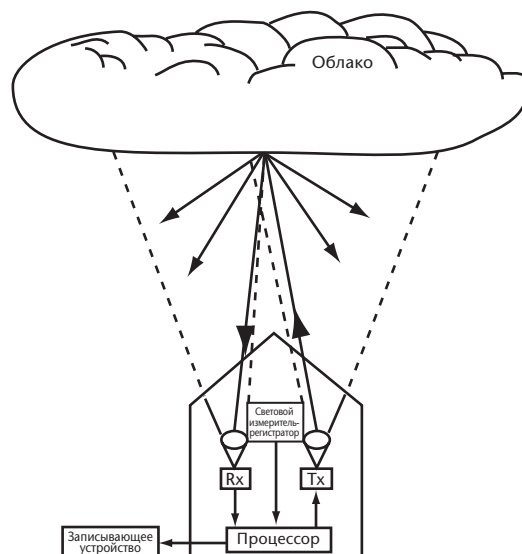


Рисунок 15.1. Типовой лазерный облакомер.

Укрытие снабжается нагревателями во избежание конденсации на оптических поверхностях, а влажность внутри укрытия понижается посредством использования осушителя. Верхняя часть укрытия снабжена крышкой со встроенными оптическими отражателями, предохраняющими устройство от прямого солнечного излучения.

Выходной сигнал детектора разделяется на последовательные «строб-импульсы дальности», каждый из которых отображает минимально обнаруживаемое приращение высоты. В прибор вмонтировано пороговое устройство таким образом, что исключается возможность того, что прибор не «видит» облако или «видит» несуществующее облако.

#### 15.4.1.2 **Размещение и установка**

Устройство должно быть установлено на прочном основании со свободным обзором над пунктом наблюдения в пределах конуса с углом приблизительно  $30^\circ$  к вертикали. При необходимости может использоваться площадка на крыше при условии соответствующей корректировки сообщаемых высот к уровню земной поверхности. Несмотря на то, что в оперативной практике конструкция лазерных облакомеров обеспечивает «безопасность для зрения», следует принимать меры к тому, чтобы случайный наблюдатель не смотрел непосредственно в излучаемый пучок света.

С целью снижения воздействия сильно отражающихся дождевых капель пучок света и телескоп могут быть установлены под углом приблизительно  $5^\circ$  к вертикали.

#### 15.4.1.3 **Источники погрешностей**

Существуют четыре основных источника погрешностей, а именно:

- a) погрешности диапазона: такие погрешности возможны, когда в основных цепях хронизирующего генератора возникают неисправности, но при обычной работе они могут не приниматься во внимание;
- b) вертикальность излучаемого/отраженного пучка света: в том случае, если прибор отъюстирован и отклонение луча от вертикали составляет не более  $5^\circ$ , погрешностями такого рода можно пренебречь;
- c) погрешности, возникающие в системе обработки сигналов: в связи с тем, что обычно нижняя граница облаков весьма расплывчата и варьирует в значительной степени во времени и в пространстве, были разработаны сложные алгоритмы для оценки репрезентативных значений высоты нижней границы облаков по отраженному облаком сигналу. В условиях тумана (при наличии или отсутствии над ним облачности), а также при выпадении осадков могут возникать серьезные ошибки. Следовательно, важно располагать информацией о видимости и осадках для того, чтобы оценить результаты, получаемые с помощью облакомера. В условиях характерной слоистой облачности (например, при наличии слоисто-кучевых облаков) ошибки измерения проверяются исключительно посредством пороговых алгоритмов облачности и могут считаться приемлемыми для некоторой отдельно взятой конструкции облакомера;
- d) диапазон измерений: ввиду ограниченной мощности лазера, отраженное излучение на больших высотах может быть настолько малой интенсивности, что его невозможно обнаружить. В этой связи не всегда можно наблюдать высоту нижней границы перистых облаков.

В оперативной практике в условиях однородного основания облаков результаты измерений лазерным облакомером обычно можно сравнить с результатами шаропилотных измерений, а также измерений с самолета и с помощью прожектора в ночное время. Были проведены масштабные взаимные сравнения лазерных облакомеров различного производства. Так, во время проведения ВМО международного взаимного сравнения облакомеров (WMO, 1988) сравнивались несколько конструкций облакомеров, а также результаты наблюдений с помощью облакомеров с вращающимся лучом и шаровпилотов. В результате международного взаимного сравнения установили, что при использовании современной технологии лазерный облакомер представляет собой наиболее точное, надежное и эффективное средство измерения высоты нижней границы облаков с земной поверхности по сравнению с альтернативным оборудованием.

15.4.1.4 **Калибровка и техническое обслуживание**

Большинство лазерных облакомеров снабжены встроенной диагностикой, которая контролирует излучаемую выходную энергию и предохраняет от серьезных погрешностей во времени. Проверка калибровки обычно ограничивается проверкой частоты и стабильности основного генератора посредством использования высококачественных наружных стандартов частоты и проверкой выходной мощности излучателя. Калибровка может быть произведена также путем взаимного сравнения (WMO, 1988). Устанавливая облакомер на определенном расстоянии (например, вышка), он используется для подтверждения измерения расстояния при помощи прибора. Текущее обслуживание обычно заключается в чистке открытых оптических приборов и наружных поверхностей и замене воздушных фильтров при наличии охлаждающих воздуходувок.

15.4.2 **Использование прожектора с вращающимся лучом**

15.4.2.1 **Метод измерения**

Принцип действия облакомера с вращающимся лучом (ОВЛ) заключается в измерении угла возвышения светового пучка, осуществляющего сканирование в вертикальной плоскости, в тот момент, когда часть светового сигнала, рассеянного основанием облака, будет получена фотоэлектрическим элементом, направленным вертикально вверх и расположенным на известном расстоянии от источника света (см. рисунок 15.2). Прибор состоит из передатчика, приемника и записывающего устройства.

Передатчик испускает узкий пучок света, расходимость которого составляет  $2^\circ$ , при этом большая часть излучаемой радиации находится в ближней инфракрасной области спектра длин волн, т. е. в диапазоне от 1 до 3 мкм. Таким образом, используемая длина волны незначительна по сравнению с размером водяных капель в облаке. Световой пучок сканирует облака в вертикальной плоскости по дуге, обычно охватывая от  $8^\circ$  до  $85^\circ$ , и модулируется на частоте приблизительно 1 кГц для того, чтобы с помощью методов фазочувствительного детектирования улучшить соотношение сигнал-шум в приемнике.

Приемник состоит из фотоэлемента и ограничителя угла зрения; ограничитель служит для того, чтобы на фотоэлемент могли попасть только вертикально направленные сверху лучи света. Перо записывающего устройства, движущееся одновременно с лучом передатчика, регистрирует получаемый от облака сигнал.

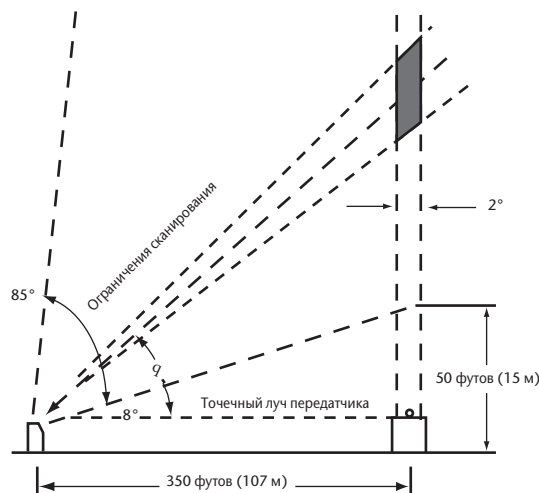


Рисунок 15.2. Типовой облакомер с вращающимся лучом.

#### 15.4.2.2 **Размещение и установка**

Передачик и приемник должны быть установлены на открытой ровной площадке на расстоянии 100–300 м друг от друга на прочных и устойчивых подставках. Особенно важно, чтобы источник света сканировал в той же плоскости, что и приемник. Это достигается посредством точной регулировки оптики и проверкой плоскости, соответствующей лучу передатчика, в подходящих условиях в темное время суток.

#### 15.4.2.3 **Источники погрешностей**

При измерении высоты нижней границы облака с помощью ОВЛ могут быть допущены погрешности, обусловленные следующими факторами:

- a) шириной светового пучка;
- b) оптическим несопадением;
- c) механическими допусками движущихся деталей;
- d) чувствительностью приемника.

Поскольку во многих конструкциях объем пересечения конусов передатчика и приемника довольно значителен при высоте облаков более 500 м, то погрешности, связанные с шириной светового пучка, обычно являются наиболее серьезными. Определение нижней границы облаков в разделе 15.1.1 не представляет собой адекватную основу для объективной конструкции облакомеров, следовательно, используемые в настоящее время алгоритмы основаны на экспериментальных результатах и сравнениях с другими методами оценки. В одних ОВЛ используется «пороговый» метод определения наличия облачности, а в других — схема детектирования «пикового» сигнала. В некоторых случаях чувствительность приемника влияет на сообщаемую высоту облаков, вследствие чего возникают значительные погрешности, превышающие при определенных обстоятельствах установленные эксплуатационные требования (Douglas and Offiler, 1978). Эти погрешности обычно возрастают с увеличением регистрируемой высоты.

ОВЛ крайне чувствительны к наличию осадков. В случае умеренных или сильных осадков прибор может ошибочно показать наличие облаков нижнего яруса или не сможет определить облака вообще. В условиях тумана пучок света может рассеяться на нижнем уровне, и электронный облакомер не сможет дать какую-либо полезную информацию об облачности даже при наличии облаков нижнего яруса.

Проводились сравнения ОВЛ и лазерных облакомеров; результаты таких сравнений широко сообщались (WMO, 1988). Они показали значительное совпадение данных, полученных при помощи двух типов облакомеров на указанных высотах вплоть до 500 м, но эффективность детектирования ОВЛ при наличии осадков заметно ниже.

#### 15.4.2.4 **Калибровка и техническое обслуживание**

Единственный вид технического обслуживания, которое обычно производит пользователь, – это очистка окошек передатчика и приемника и замена ленты. Наружные поверхности пластиковых окошек передатчика и приемника следует чистить еженедельно. Для этого должна использоваться мягкая сухая ткань, при этом следует проявлять осторожность, чтобы не поцарапать окошко. При замене лампы передатчика следует произвести оптическую корректировку. Необходимо ежегодно проверять горизонтальность передатчика и приемника и, по мере необходимости, проводить корректировку.



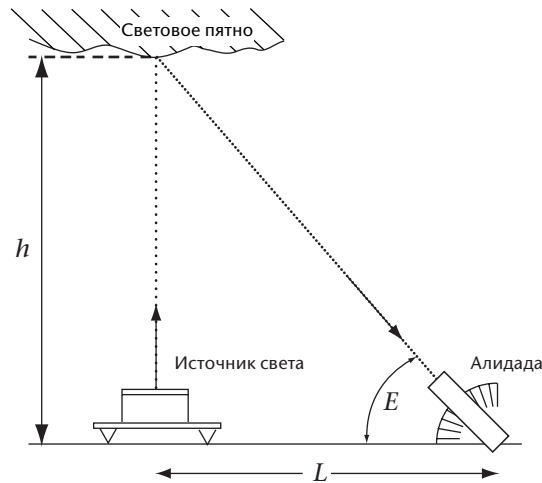


Рисунок 15.3. Принцип действия облачного прожектора.

### 15.4.3 Использование облачного прожектора

#### 15.4.3.1 Метод измерения

При использовании этого метода (рисунок 15.3) угол возвышения  $E$  светового пятна на нижней границе облачности, полученного посредством вертикально направленного луча прожектора, измеряется с помощью алидады из удаленной точки. Пусть  $L$  — известное горизонтальное расстояние в метрах (футах) между прожектором и пунктом наблюдения, то высота  $h$  в метрах (футах) нижней границы облачности над пунктом наблюдения рассчитывается следующим образом:

$$h = L \tan E \tag{15.2}$$

Оптимальное расстояние между прожектором и пунктом наблюдения составляет приблизительно 300 м (1 000 футов). Если это расстояние будет значительно больше, то световое пятно может стать плохо различимым, при значительно меньшем расстоянии ухудшается точность измерения высоты более 600 м (2 000 футов). Расстояние, равное 250–550 м (800–1 800 футов), обычно считается приемлемым.

#### 15.4.3.2 Размещение и установка

Желательно, чтобы был свободный обзор между прожектором и алидадой, которые должны быть установлены на прочных, устойчивых подставках. При разнице в высоте над уровнем земной поверхности между прожектором и алидадой в расчетные высоты необходимо внести поправку. Если свободный обзор невозможен, то высота препятствия между лучом прожектора и алидадой не должна превышать 100 футов.

#### 15.4.3.3 Источники погрешностей

Наиболее значительным источником погрешностей является неточность измерения угла возвышения. Погрешности высоты, связанные с небольшими отклонениями от вертикали, не имеют значения.

Абсолютная погрешность  $\Delta h$  в расчетном значении высоты облака, обусловленная погрешностью  $\Delta E$  измеренного значения возвышения, рассчитывается следующим образом (предполагается, что  $L$  — точно измеренная постоянная):

$$\Delta h = L \cdot \left( \frac{1}{\cos^2 E} \right) \cdot \Delta E = L \sec^2 E \cdot \Delta E \tag{15.3}$$

где  $E$  приводится в радианах ( $1^\circ = \pi/180$  рад). Следует отметить, что  $\Delta h$  стремится к бесконечности при  $E \rightarrow 90^\circ$ . Если  $L = 300$  м (1 000 футов) и  $\Delta E = 1^\circ$ , то значение  $\Delta h = 6$  м (17 футов) при  $h = 300$  м (1 000 футов), а  $\Delta h$  приблизительно равно 140 м (450 футов) при  $h = 1\,500$  м (5 000 футов). Относительная погрешность значения  $h$  рассчитывается следующим образом:

$$\Delta h/h = 1/(\sin E \cdot \cos E) \cdot \Delta E \quad (15.4)$$

где  $E$  приводится в радианах. Значение  $\Delta h/h$  является минимальным при  $E = 45^\circ$  (или  $h = L$ ).

#### 15.4.3.4 Калибровка и техническое обслуживание

Фокусировку и вертикальность пучка света следует проверять, если возможно, примерно один раз в месяц, так как со временем могут произойти небольшие изменения формы нити накала лампы. При замене лампы следует произвести регулировку ее положения, так как не все лампы одинаковы.

Вертикальность пучка света следует проверять в облачную ночь с помощью теодолита. Проверку следует проводить из двух положений: из точки, находящейся вблизи алидады, и из другой точки, находящейся приблизительно на таком же расстоянии от прожектора под прямым углом к линии, соединяющей прожектор и алидаду (рисунок 15.4). Азимуты прожектора и светового пятна на облаке должны быть измерены с максимально возможной точностью, как и угол возвышения светового пятна. Если различие между азимутами обозначить буквой  $A$ , а угол возвышения светового пятна —  $E$ , то отклонение  $\phi$  пучка света от вертикали выражается следующим образом:

$$\phi = \arctan(\tan A / \tan E) \approx A / \tan E \quad (15.5)$$

(for  $A \approx 1^\circ$  or less)

Если значение  $\phi$  составляет более  $1^\circ$  при измерении из точки алидады или более  $0,5^\circ$  из другого положения, то следует продолжать регулировку до получения необходимой точности.

Фокусировку можно проверить и отрегулировать в облачную ночь, проводя наблюдения за диаметром светового пятна на самом высоком облаке над прибором. В случае необходимости фокусировку следует отрегулировать таким образом, чтобы свести к минимуму диаметр светового пятна.

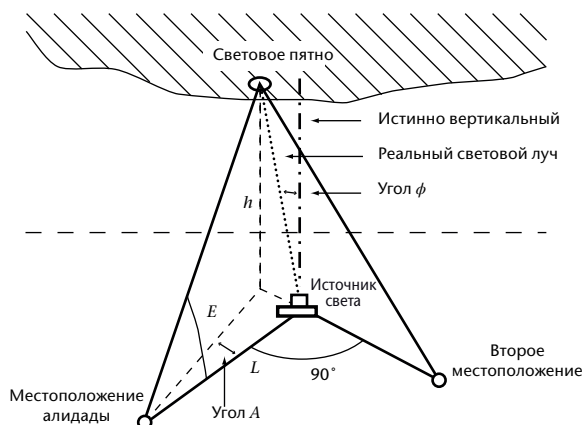


Рисунок 15.4. Проверка вертикальности светового луча прожектора.

#### 15.4.4 **Использование шара-пилота**

##### 15.4.4.1 **Метод измерения**

Высота облаков может быть измерена в светлое время суток путем определения времени, необходимого для того, чтобы небольшая резиновая оболочка, наполненная водородом или гелием, поднялась от земной поверхности до нижней границы облаков. За нижнюю границу облаков следует принять уровень, на котором шар-пилот начинает входить в слой дымки, прежде чем окончательно исчезнуть.

Скорость подъема шара-пилота в основном обусловлена его свободным подъемом и может регулироваться посредством осуществления контроля за количеством водорода или гелия в оболочке шара-пилота. Интервал времени между запуском шара-пилота и его входом в облако измеряется с помощью секундомера. Если скорость подъема равна  $n$  метров в минуту, а время движения составляет  $t$  минут, то высота нижней границы облаков над поверхностью земли равна  $n \cdot t$  метров, но не всегда стоит неукоснительно следовать этому правилу. Вихревые потоки воздуха на месте запуска шара-пилота могут препятствовать его подъему в течение некоторого времени с момента его выпуска. Как правило, секундомер включается в момент выпуска шара и, следовательно, период времени между выпуском шара и отмеченным моментом его выхода из вихревого потока следует вычесть из общего времени, прежде чем определять высоту облачности. Даже если не принимать во внимание вихревые потоки, скорость подъема на самом низком участке, составляющем около 600 м (2 000 футов), является весьма непостоянной.

Несмотря на то, что высоту нижней границы облаков среднего яруса иногда получают в качестве сопутствующей информации при измерениях ветра на высотах с помощью шара-зонда, в основном метод измерения шаром-зондом подходит для облаков нижнего яруса. При отсутствии вспомогательных оптических приборов, таких как бинокль, телескоп или теодолит, не следует проводить измерения, если высота нижней границы облаков предположительно превосходит 900 м (3 000 футов) даже при слабом ветре. При сильном ветре шар-зонд может выйти за пределы диапазона видимости невооруженным глазом до того, как он достигнет границы облачности.

Выпадение осадков замедляет скорость подъема шара-зонда, и измерения высоты облаков с помощью шара-пилота можно проводить только в условиях слабых осадков.

Этот метод может использоваться в ночное время, если шар-зонд снабжен электрическим освещением. В целях безопасности использование свечей в качестве источника света строго запрещено.

##### 15.4.4.2 **Источники погрешности**

Результаты измерения высоты нижней границы облаков с помощью шара-зонда следует использовать с осторожностью, так как средняя скорость подъема шара-зонда, особенно на участке первых нескольких сот метров, может значительно отличаться от предполагаемой скорости подъема (вследствие влияния вертикальных потоков, формы шара-зонда, осадков и турбулентности).

#### 15.5 **ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМ ОБЛАКОВ**

Наблюдение за типами облаков по-прежнему проводится персоналом. Существует только один автоматизированный метод измерения вида облаков специально для определения кучево-дождевых/башенкообразных кучевых облаков. В этом методе используются данные с сети радиолокаторов, измеряющих осадки, и сети обнаружения молний. Классы радиоотражательной способности и количество разрядов молнии в пределах определенного участка комбинируются для получения информации о присутствии кучево-дождевых и/или башенкообразных кучевых облаков.

Этот новый метод используется несколькими метеорологическими службами. Количество ложных тревог относительно высоко (см. WMO, 2006*b*).

## 15.6 **ДРУГИЕ ОСОБЕННОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ОБЛАКАМИ**

### 15.6.1 **Вертикальная видимость**

Вертикальная видимость определяется, как максимальное расстояние, на котором наблюдатель может различать предметы в вертикальном направлении. Вертикальная видимость может быть рассчитана исходя из профиля ослабления атмосферы (WMO, 2010). Облакомеры (см. разделы 15.4.1 и 15.4.2) могут предоставить оценочное значение вертикальной видимости на основе интегрированной отраженной энергии с амплитудой. В публикации WMO (WMO, 1988) показано, что при использовании данного метода нередко получаются недостоверные результаты. На практике данные о вертикальной видимости часто получают при использовании облакомера, когда высота нижней границы облаков не соответствует требованиям, но отражающийся свет принимается с определенной высоты.

---

## СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, 2010: *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), том I. Женева.
- , 2011: *Наставление по кодам* (ВМО-№ 306), том I.1. Женева.
- , 2014: *Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации* (ВМО-№ 731). Женева.
- Douglas, H.A. and D. Offiler, 1978: The Mk 3 cloud base recorder: A report on some of the potential accuracy limitations of this instrument. *Meteorological Magazine*, 107:23–32.
- Larsson, B. and E. Esbjörn, 1995: *Cloud Cover Algorithm*. SMHI IO-BN 1995-01-11, SMHI, Norrköping, Sweden.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1988: *Federal Standard Algorithms for Automated Weather Observing Systems Used for Aviation Purposes*. Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research, United States Department of Commerce, FCM-S5-1988, Silver Spring, MD, United States.
- United States Government, 1999: *Automated Surface Observing System*. Air Force Operational Test and Evaluation Center: Final Assessment Report for the Federal Aviation Administration, California, United States.
- Wauben, W.M.F., 2002: Automation of visual observations at KNMI: (II) Comparison of automated cloud reports with routine visual observations. In: *Symposium on Observations, Data Assimilation and Probabilistic Prediction*. AMS Annual Meeting, 2002 Report, Orlando, FL, United States.
- World Meteorological Organization, 1975: *International Cloud Atlas: Manual on the Observation of Clouds and Other Meteors* (WMO-No. 407), Volume I. Geneva.
- , 1987: *International Cloud Atlas* (WMO-No. 407), Volume II. Geneva.
- , 1988: *WMO International Ceilometer Intercomparison* (D.W. Jones, M. Ouldrige and D.J. Painting). Instruments and Observing Methods Report No. 32 (WMO/TD-No. 217). Geneva.
- , 2006a: Status, evaluation and new developments of the automated cloud observations in the Netherlands (W. Wauben, H. Klein Baltink, M. de Haij, N. Maat and H. The). *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)*. Instruments and Observing Methods Report No. 94 (WMO/TD-No. 1354). Geneva.
- , 2006b: Status of the automatic observation on aerodrome and ongoing improvements in France (M. Leroy). *Paper presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)*. Instruments and Observing Methods Report No. 94 (WMO/TD-No. 1354). Geneva.
-