



УЕ 1.8 Оптические явления в атмосфере

Рассматриваемые вопросы:

Общие сведения об атмосферной оптике. Основные фотометрические понятия. Оптические явления в облаках, туманах, осадках. Дальность видимости. Метеорологическая дальность видимости. Дальность видимости в сумерки и ночью. Вертикальная и наклонная видимости. Понятие о посадочной дальности видимости.

Атмосфера представляет собой мутную, оптически неоднородную среду. Не только молекулы воздуха, но и взвешенные в нем жидкие и твердые частички (аэрозоли) рассеивают и поглощают световую радиацию, причем неодинаково в разных участках спектра. Кроме того, световые лучи, проходя через атмосферу, встречают на своем пути слои воздуха различной плотности, небольшие вихри и струйки, создаваемые турбулентностью, что вызывает преломление световых лучей.

В верхней атмосфере на высотах от 70-80 до 200-300 км происходит ряд фотохимических процессов, обусловленных воздействием Солнца, которые приводят к слабой люминесценции неба, называемой свечением атмосферы. В этих и еще более высоких слоях (до 1000 км) вторжение солнечных корпускул вызывает свечение газов, называемое полярным сиянием. На находящихся в облаках водяных каплях и кристаллах льда, а также в завесе дождя происходят преломление, отражение и дифракция световых лучей.

Все оптические явления в зависимости от причин образования можно разделить на четыре группы:

1) явления, обусловленные рассеянием света в атмосфере - освещенность, форма и цвет неба, сумерки и др.;



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

2) явления, обусловленные преломлением световых лучей в атмосфере (рефракцией) - миражи, мерцание звезд, сужение и расширение горизонта и др.;

3) явления, обусловленные преломлением и отражением световых лучей в каплях и кристаллах облаков - радуга, гало;

4) явления, обусловленные дифракцией света в облаках и тумане - венцы, глории.

Основные фотометрические понятия:

Сила света источника – лучистая энергия, излучаемая источником в единицу времени. Единица силы света кандела (кд).

Поток световой энергии Φ – количество энергии, переносимой световыми волнами в единицу времени. Для измерения поной его энергетической мощности служит ватт (Вт).

Световой поток F – световая мощность потока лучистой энергии, оцениваемая по световому ощущению, которое он производит на глаз. Единица светового потока люмен (лм).

Глаз человека не одинаково чувствителен к видимым лучам различного цвета (т.е. различной длины волны). Поэтому, чтобы вызвать ощущение одинаковой световой мощности, энергетическая мощность потоков, состоящих из разных длин волн, должна быть неодинаковой. При дневном освещении глаз наиболее чувствителен к желто – зеленым лучам (0,555 мкм). При сумеречном освещении – к зеленым лучам (0,510 мкм).

Отношение светового потока F к его энергетической мощности Φ называется коэффициентом видности:

$$v_{\lambda} = F/\Phi$$

Если максимальное значение видности принять за 1, то для всех других волн видность будет меньше 1, а за пределами видимого спектра равно нулю.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

Освещенность E – это поверхностная плотность светового потока, падающего на данную поверхность. Единица освещённости люкс (лк).

Светимость R – это полный световой поток, испускаемый во все стороны единицей площади светящейся поверхности (лм/м²)

Яркость – сила света, испускаемая в данном направлении с единицы видимой поверхности (кд/м²).

Оптические явления, обусловленные рассеянием света в атмосфере. В дневные часы прямые и рассеянные лучи солнца создают естественную освещенность земной поверхности и объектов, которая играет огромную роль как в жизни человека, так и в жизни всего органического мира. Особенно велика роль, рассеянного света, позволяющего нам видеть земную поверхность и все на ней, при отсутствии прямого солнечного света в тени или в пасмурную погоду.

Дневная освещенность, создается прямыми солнечными лучами и рассеянным светом. Освещенность как прямым, так и рассеянным светом в первую очередь зависит от высоты солнца. С увеличением высоты солнца освещенность прямыми лучами солнца растет быстрее, чем освещенность рассеянным светом.

На освещенность сильное влияние оказывает изменение прозрачности атмосферы. С увеличением прозрачности освещенность прямыми лучами увеличивается, а освещенность рассеянным светом, наоборот, уменьшается. И суммарная освещенность при увеличении прозрачности воздуха тоже увеличивается. Этим объясняется то, что освещенность в больших городах значительно меньше, чем в сельской местности.

На освещенность значительно влияет также облачность. Облака увеличивают освещенность рассеянным светом, и тем больше, чем больше при этом высота солнца. Особенно значительно увеличение суммарной



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

освещенности при высоких просвечивающих облаках Ac, Sc, Cu, ярко освещенных солнцем, но при условии, что само солнце не закрыто облаками. В подобных условиях и при высоком положении солнца освещенность может быть в 2 раза больше, чем при ясном небе. При закрытом солнце, а тем более при сплошной низкой облачности суммарная освещенность может быть вдвое меньше, чем при ясном небе, а при Cb освещенность может быть уменьшена в 10 раз и более.

На освещенность рассеянным светом большое влияние оказывает также альbedo земной поверхности. Так, при наличии снежного покрова освещенность увеличивается в среднем на 10-20%, при малых высотах солнца - более чем на 100%. Это объясняется рассеянием отраженной радиации.

Для практических целей большой интерес представляет изучение освещенности вертикальных стен зданий, а также горных склонов при различной их экспозиции.

Форма небесного свода. Световые лучи, проходя через атмосферу, рассеиваются молекулами воздуха и другими частичками в разные стороны, но в основном вперед, к земле. Эти рассеянные атмосферой лучи, попадая в глаз наблюдателя, должны создавать впечатление светлого свода в форме полусферы с центром в глазу наблюдателя. Однако, внимательно присмотревшись к небесному своду, мы замечаем, что он имеет сильно приплюснутую форму. Кажущаяся сплюснутость небесного свода зависит от условий погоды и главным образом от освещенности. Наблюдения показывают, что днем она больше, чем ночью, а в лунную ночь больше, чем в темную, и увеличивается при наличии облачности.

Вследствие кажущейся сплюснутости небесного свода при визуальных наблюдениях мы всегда ошибочно оцениваем высоту каких-либо точек, проектирующихся на небесном своде, и чем ближе точка к горизонту, тем



больше ошибка.

Причина кажущейся приплюснутости небесного свода заключается в психологических и физиологических свойствах зрительного восприятия.

Психологическая причина заключается в том, что при взгляде на горизонт мы видим много предметов, нередко очень удаленных, но небесный свод всегда находится далеко позади них. Это создает впечатление еще большей его удаленности. При взгляде вверх между глазом и небесным сводом не встречается никаких предметов, и расстояние до него кажется нам короче.

Физиологическая причина заключается в том, что визуальная оценка расстояния связана с положением головы и глаз. При взгляде вперед (прямо перед собой) человек оценивает расстояния иначе, чем при взгляде вверх, запрокинув голову и поворачивая глаза. В первом случае мы всегда преувеличиваем расстояние. Так, например, поваленное дерево кажется нам длиннее растущего.

Кроме указанных причин, следует отметить роль воздушной дымки, создаваемой рассеянным светом по направлению на горизонт, которая усиливает впечатление кажущейся удаленности горизонта.

Цвет неба. Цвет небесного свода определяется теми видимыми лучами, которые попадают в наш глаз из атмосферы, т. е. солнечными лучами, рассеянными атмосферой.

Белый солнечный свет представляет смесь различных цветных лучей, которые рассеиваются по-разному. В чистой сухой атмосфере рассеяние происходит на молекулах по закону Рэлея, т. е. обратно пропорционально четвертой степени длины волны. Коэффициенты рассеяния лучей различного цвета представлены в таблице 3 лекции 1.4.

Все цветные лучи входят в состав рассеянного света. Если сложить лучи всех цветов, центр тяжести падает на синие и голубые лучи, поэтому



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

мы видим безоблачное небо синим и голубым. В то же время прямой солнечный цвет более богат длинноволновыми лучами – желтыми, оранжевыми, красными. Особенно это заметно при восходе и закате, когда солнечные лучи проходят наибольшую толщину атмосферы ($m=34$).

Однако закон Рэлея применим только к частицам, размер которых не превышает 0,1 длины волны рассеиваемого света. Чем крупнее частицы, тем более длинные волны ими рассеиваются и тем равномернее рассеяние лучей с разной длиной волны. Для таких частиц, как капельки тумана и облаков (с радиусом более 10^{-3} см), рассеяние не зависит от длины волны, рассеиваемый ими свет белый. Вот почему облака и туман белого цвета.

Таким образом, присутствие в атмосферном воздухе примесей в виде капелек воды, пылинок, кристаллов льда приводит к тому, что на синеголубой цвет неба накладывается белый цвет различной интенсивности в зависимости от количества примесей и небо приобретает белесоватый оттенок.

При большой влажности и высокой температуре воздуха или после длительной засухи количество крупных взвешенных частичек может быть настолько велико, что голубой цвет неба полностью пропадает и весь небесный свод становится белесоватым с большой ослепительной яркостью. Если после длительной засухи пройдет дождь, то голубизна неба восстанавливается, так как дождь вымывает пыль из атмосферы.

Таким образом, по степени синевы неба можно судить о чистоте воздуха, а следовательно, о характере воздушной массы.

В горах и на больших высотах (по наблюдениям с самолетов и стратостатов), где воздух чище и более разрежен, рассеяние приближается к молекулярному и небо имеет насыщенный голубой или синий цвет, с высотой заметно переходящий в темно-фиолетовый. Космонавты на высотах



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

в несколько сотен километров наблюдают совершенно черное небо. В космосе практически отсутствует рассеяние света.

Сумерки. Ежедневный переход ото дня к ночи и наоборот совершается не мгновенно, а растягивается на более или менее длительный период, называемый сумерками, в течение которого отмечается множество быстропроходящих и разнообразных оптических явлений. Переход ото дня к ночи называют вечерними сумерками, а от ночи ко дню - утренними.

Физическая сущность сумерек заключается в том, что после захода и переход восходом солнца поверхность земли находится в тени, но некоторое время получает свет, рассеянный теми слоями атмосферы, которые расположены над горизонтом и которые еще после захода солнца (или уже до его восхода) освещаются прямыми солнечными лучами.

Чем ниже под горизонт погружается солнце, тем выше в атмосферу поднимается тень земли и тем меньшая часть атмосферы освещается прямыми солнечными лучами. Количество рассеянного света, достигающего до поверхности земли, уменьшается, так как он поступает от все более высоких и более разреженных слоев атмосферы. Уменьшается освещенность земной поверхности, яркость неба и постепенно исчезает его окраска.

В зависимости от освещенности сумерки разделяют на две стадии. Начало вечерних (конец утренних) сумерек определяется моментом захода (восхода) солнца. Момент, когда естественная освещенность становится настолько малой, что на открытом воздухе уже невозможно читать и затрудняется передвижение неосвещенного транспорта, определяет конец так называемых гражданских сумерек. При безоблачном небе конец гражданских сумерек наступает при погружении солнца под горизонт на $6-8^\circ$. Затем наступают астрономические сумерки, продолжающиеся до полного исчезновения голубого цвета неба, появления звезд на небе, т. е. до наступления ночи. К тому времени солнце опускается под горизонт на 18° .



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

Продолжительность сумерек определяется быстротой погружения солнца под горизонт, что в свою очередь зависит от широты места и времени года. С увеличением широты продолжительность сумерек увеличивается, особенно летом. Самые продолжительные сумерки бывают в день летнего и зимнего солнцестояний, самые короткие - в дни равноденствий. Наконец, с увеличением широты конец вечерних и начало утренних сумерек сливаются и в течение определенного летнего периода образуют так называемые белые ночи (непрерывные сумерки).

Освещенность земли ночью. На земную поверхность всегда поступает некоторое количество света от небесного свода. Источников этого света несколько: 1) прямой и рассеянный свет звезд; 2) солнечный свет, рассеянный верхними слоями атмосферы, который может попасть даже на неосвещенную сторону Земли; 3) зодиакальный свет и свет галактический (от туманности Млечного Пути); 4) собственное свечение атмосферы, называемое ночным свечением атмосферы.

Явления, обусловленные преломлением света в атмосфере. Вследствие непрерывного изменения плотности воздуха с высотой траектория светового луча в атмосфере оказывается искривленной, так как он преломляется при переходе от слоя с одной плотностью в слой с другой плотностью. Исходя из законов геометрической оптики следует, что в общем случае траектория светового луча выпуклой частью обращена в сторону слоев с меньшей плотностью и искривление тем больше, чем резче изменяется плотность среды. Атак как плотность воздуха обратно пропорциональна температуре, то можно сказать, что искривление светового луча в атмосфере тем больше, чем больше вертикальный градиент температуры.

Преломление светового луча в атмосфере называется *атмосферной рефракцией*. Если источник световых лучей находится вне атмосферы (небесные светила), то преломление лучей носит название *астрономической*



рефракции.

Астрономической рефракцией обусловлен целый ряд явлений: сплющивание диска солнца и луны у горизонта, увеличение продолжительности дня, зеленый луч, мерцание звезд.

Рефракция световых лучей, идущих от земных предметов, называется *земной рефракцией*. Это явление заключается в том, что при нормальном распределении плотности воздуха с высотой все предметы мы видим не на своих местах, а несколько приподнятыми на некоторый угол.

Земной рефракцией обусловлены такие явления как расширение, сужение горизонта и миражи.

Миражи относятся к явлениям аномальной рефракции, связанной с резким нарушением нормального распределения плотности воздуха с высотой. Явление это заключается в том, что мы видим не только какой-либо удаленный предмет, но и одно или несколько его изображений (прямые или обратные), а иногда видим только его изображение, а не сам предмет.

В зависимости от того, где расположено это изображение (снизу, сверху или сбоку от самого предмета), различают миражи нижний, верхний или боковой. Сложный мираж с резким искажением и подвижностью изображений носит название «фата-моргана».

Нижний мираж наблюдается в случае сильного прогрева приземного воздуха, когда градиент температуры превышает $3,4^{\circ}\text{C}/100$ м и плотность воздуха с высотой возрастает. Такое состояние в атмосфере очень неустойчиво, кратковременно и возможно только при полном штиле. Нижний мираж наблюдается чаще всего в пустынях в утренние часы, когда вследствие сильного прогрева нижнего слоя воздуха вертикальный градиент температуры становится более $3,4^{\circ}\text{C}/100\text{м}$, а ветер еще отсутствует. Часто нижний мираж образуется над нагретыми шоссейными дорогами, когда



отдельные участки шоссе с расстояния 200-500 м кажутся как бы мокрыми (блестят).

Верхний мираж наблюдается в тех случаях, когда плотность воздуха с высотой уменьшается быстрее, чем обычно, что бывает при резко выраженной приземной инверсии. Образование его объясняется так же, как и образование нижнего миража. Только в этом случае искривление световых лучей происходит в обратном направлении, поэтому и изображение предмета получается выше его действительного положения.

Верхний мираж наблюдается в полярных странах и часто над морем, поверхность которого вследствие испарения всегда сильно охлаждена.

Боковой мираж возникает, когда слои с одинаковой плотностью имеют значительный наклон к земной поверхности, т. е. имеет место большой горизонтальный градиент температуры и плотности. Такие условия может создать сильно нагретая стена или резкая граница света и тени на поверхности моря или озера, которое граничит с высоким гористым берегом. В этом случае после восхода солнца создается большая разность плотностей в горизонтальном направлении. При этом рефракция (искривление) лучей происходит не в вертикальной плоскости, а в горизонтальной. При боковом мираже изображение предмета появляется рядом с ним и чаще на одном уровне.

Сложные миражи, состоящие из нескольких перевернутых и прямых изображений, возникают при неравномерном распределении плотности воздуха, когда над слоями с быстрым падением плотности располагаются слои с медленным ее падением. Иногда эти слои наклонены друг к другу и перемещаются. Вследствие этого лучи, исходящие от разных точек предмета, описывают разные траектории и, попадая в глаз наблюдателя, дают разные изображения.



К явлениям, обусловленные преломлением и отражением световых лучей в каплях и кристаллах относятся радуга и гало.

Радуга представляет собой цветную дугу, которая наблюдается на фоне завесы дождя в стороне, противоположной солнцу. Радуга как бы описана лучом зрения вокруг оси, совпадающей с солнечным лучом, проходящим через глаз наблюдателя. Поэтому центр радуги всегда лежит на линии, соединяющей солнце и глаз наблюдателя, в антисолярной точке. Угловой радиус радуги около 42° , но иногда наблюдается вторая радуга с угловым радиусом около 53° , расположенная концентрически с первой, основной радугой.

Верхний (наружный) край первой дуги красный, нижний (внутренний) - фиолетовый, а между ними расположены остальные цвета в порядке солнечного спектра. У второй радуги расположение цветов обратное; верхний край фиолетовый, нижний - красный. Ширина и яркость отдельных цветных полос бывают различными.

Высота радуги над горизонтом зависит от высоты солнца. Чем выше над горизонтом солнце, тем ниже под горизонт опускается антисолярная точка (центр дуги) и, следовательно, тем ниже радуга. Когда солнце у горизонта, центр радуги тоже на горизонте с противоположной стороны, и она представляет собой полуокружность. При этом наибольшая высота у первой радуги 42° , а у второй 53° . По мере поднятия солнца над горизонтом радуга опускается под горизонт. Когда высота солнца достигает 42° , первая радуга уже не видна (ее верхний край касается горизонта), может быть видна только часть второй радуги. Когда высота солнца достигает 63° , не может быть видна и вторая радуга. Вот почему в средних и низких широтах в полуденные часы радуга не наблюдается. И только при наблюдении с высоты, с вершины горы или самолета, можно видеть радугу как полную окружность.



Явление радуги объясняется преломлением и отражением солнечных лучей в дождевых каплях.

Солнечный луч S (рисунок 1), падающий на каплю в точке A , входя в нее, преломляется, а затем отражается от внутренней поверхности в точке B и, выходя из капли в точке C , вновь преломляется. Преломляясь в капле, луч разлагается на составные цвета, поэтому из капли выходит пучок расходящихся цветных лучей, причем красный луч как наименее преломляемый расположен снизу, а над ним все остальные цвета в порядке солнечного спектра. В результате двух преломлений и одного отражения первоначальное направление луча SA изменится: для красного луча на угол $D_{кр}$, а для фиолетового луча на угол $D_{ф}$.

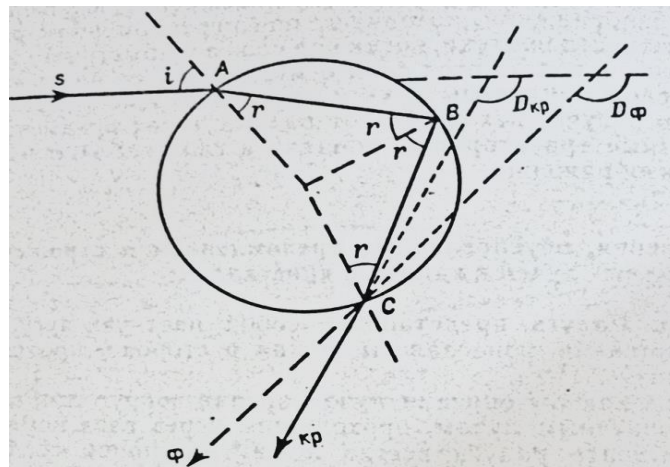


Рисунок 1 – Ход луча в капле при образовании первой радуги

На рисунке 1 показан ход только одного луча, падающего на каплю под углом i . В действительности же на каплю падает множество параллельных лучей под различными углами и все они отклоняются от первоначального направления по-разному. Поэтому после выхода из капли лучи каждого цвета расходятся веерообразным пучком. На глаз наибольшее действие оказывают наименее отклоненные лучи, так как они выходят из капли концентрированным, почти параллельным пучком и в большем количестве



попадают в глаз.

Образование второй радуги объясняется аналогично, только в этом случае луч испытывает двукратное отражение внутри капли, как показано на рисунке 2.

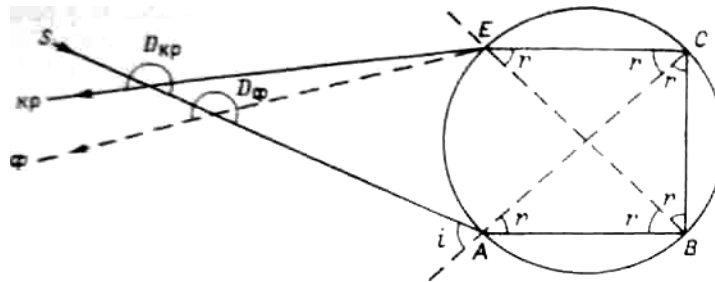


Рисунок 2 – Ход луча в капле при образовании второй радуги

Яркость цветов радуги и ее ширина определяются степенью дисперсии света при преломлении лучей в каплях, что в свою очередь зависит от размера капель. Исследования показали, что в случае крупных капель радиусом более $5 \cdot 10^{-2}$ см образуется радуга более узкая, с резко выраженными отдельными цветами. С уменьшением капель ширина радуги увеличивается, а цвета ее становятся расплывчатыми. При очень маленьких каплях, например, каплях тумана радиусом менее $2,5 \cdot 10^{-3}$ см, радуга почти белая с чуть желтоватым краем. На еще более мелких облачных каплях радуга не образуется совсем.

Гало. Если между Солнцем (или Луной) и наблюдателем находятся тонкие облака, состоящие из кристаллов (Si , Ss), то в результате преломления и отражения кристаллами световых лучей возникает ряд оптических явлений, называемых гало. На рисунке 3 изображены основные формы гало на небесном своде, рассматриваемом из центральной точки O . Буквой S обозначено солнце или луна.

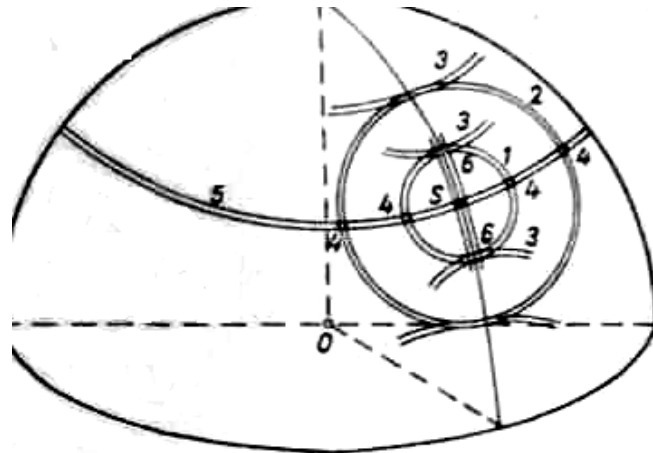


Рисунок 3- Основные формы гало

Многообразные формы гало можно разделить на две основные группы.

1. Гало, образующиеся в результате преломления световых лучей в ледяных кристаллах, слегка окрашенные в радужные цвета, причем красный цвет всегда расположен со стороны Солнца или Луны. Это - круги около светила радиусом 22° (1) и 46° (2), касательные дуги к ним (3), ложные солнца или ложные луны (4).

2. Гало, образующиеся в результате отражения световых лучей от граней или оснований кристаллов, не имеющие окраски (белые). Это - горизонтальный круг (5) и световые столбы (6), расположенные над или под Солнцем (или Луной), и кресты, образованные при пересечении двух каких-либо явлений гало, чаще всего горизонтального круга и столбов. Кресты могут образоваться также от пересечения горизонтального круга или части его с одним из цветных кругов.

Особенности и размеры гало определяются формой кристаллов, составляющих облака, и ориентацией их главной оси в пространстве. Правильные кристаллы могут иметь форму шестигранных призм, пирамид (столбиков) и пластинок, а основные оси их могут быть ориентированы беспорядочно (во всевозможных направлениях), вертикально и горизонтально.



Наличия кристаллов в атмосфере недостаточно для возникновения явления гало. Необходимо, чтобы кристаллы имели правильную форму, были прозрачными, а их поверхности - гладкими и зеркальными. Кроме того, нужно, чтобы форма и размеры кристаллов сохранялись неизменными в течение некоторого промежутка времени. Но все эти условия редко осуществляются в атмосфере одновременно. Известно, что в облаках возникшие кристаллы почти непрерывно меняют свою форму и размер, преобразуясь в новые формы, вплоть до снежинок.

Условия, способствующие образованию гало, чаще всего создаются в перисто-слоистых облаках, часто входящих в переднюю часть системы облаков теплого фронта. Поэтому появление гало (обычно это круг в 22°) свидетельствует о приближении теплого фронта.

Редкие формы гало - ложные солнца, столбы - свидетельствуют об упорядоченной ориентации кристаллов, большом количестве в воздухе, что указывает на очень устойчивое состояние атмосферы, которое отмечается в области антициклона при больших морозах. Отсюда народные приметы: «солнце с ушами к морозу» и «столбы около солнца - к трескучему морозу».

К явлениям, обусловленные дифракцией света на каплях и кристаллах относятся венцы и gloria.

Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий.

Венцы это светлые, слегка окрашенные кольца, окружающие светило (солнце, луну, яркие звезды), когда оно просвечивает сквозь тонкие облака Cs, Cc или As, Ac, Sc. Чаще всего наблюдается одно кольцо, реже 2 или 3. Кольца окрашены в цвета радуги. Чаще замечают около луны.



Венцы образуются вследствие дифракции света на каплях воды в облаке. Если все капли одинаковой величины, то венцы хорошо развиты и цвета их чисты; если же в облаках перемешаны капли разных размеров, венцы различной величины возникают одновременно и накладываются друг

на друга. Поэтому хорошо развитые венцы возникают лишь в совершенно определенных видах облаков, в которых условия конденсации водяных паров всюду достаточно постоянны; по той же причине тонкие различия в последовательности цветов зависят от числа капель различной величины, от толщины облаков и т. д.

Глория. Наблюдается на облаках, расположенных прямо перед наблюдателем или ниже него, в точке, прямо противоположной источнику света. Наблюдатель должен находиться на горе или высоко в небе (на самолёте и т.п.), а источник света (Солнце или Луна) - за его спиной. Глория представляет собой цветной или радужный венец (круг, возможно несколько кругов) на облаке вокруг тени наблюдателя.

Внутри находится голубоватое кольцо, снаружи - красноватое, далее кольца могут повторяться с меньшей интенсивностью. Угловой размер намного меньше, чем у радуги и гало - $5...20^\circ$, меняется в зависимости от размера капель в облаке.





Глория объясняется дифракцией света, ранее уже отражённого в капельках облака так, что он возвращается от облака в том же направлении, по которому падал, то есть к наблюдателю.

Дальность видимости. Наблюдая удаленные от нас объекты (здания, части ландшафта и пр.), мы замечаем, что степень их видимости очень непостоянна. Видимость бывает очень хорошей, когда четко различаются все детали объекта, бывает очень плохой, когда объект еле различим на фоне, и, наконец, может достигать такого предела, когда объект зрением не воспринимается. Из опыта известно, что такие изменения видимости обусловлены совокупностью многих причин. Видимость объекта зависит от расстояния между глазом и объектом, от размеров и формы объекта, от яркости и цвета объекта и фона, на котором объект рассматривается, от освещенности объекта и фона, от прозрачности атмосферы и, наконец, от свойств органа зрения - глаза.

Количественно видимость характеризуется величиной, которая называется дальностью видимости. Дальность видимости объекта S - это то предельное расстояние, начиная с которого наблюдаемый объект под влиянием атмосферной дымки становится неотличимым от фона, т. е. становится невидимым.

Определение дальности видимости разных объектов имеет очень большое практическое значение, особенно для всех видов транспорта и в первую очередь для авиации.

Дальность видимости зависит, с одной стороны, от объективных свойств наблюдаемых объектов и состояния атмосферы и, с другой стороны, от субъективных особенностей органа зрения - глаза. И те, и другие в естественных условиях чрезвычайно изменчивы, что очень усложняет проблему изучения дальности видимости.



Факторы, влияющие на дальность видимости:

- геометрический размер объекта,
- освещенность объекта,
- яркость объекта и фона, на который он проектируется,
- прозрачность атмосферы,
- зрение наблюдателя.

Геометрический фактор характеризует размер наблюдаемого объекта. Человеческий глаз обладает определенной разрешающей способностью или остротой зрения. В дневное время глаз человека способен видеть лишь предметы с угловым размером не менее $1'$. Следовательно, размер объекта должен быть не меньше $1/150$ расстояния до него. Если размер объект меньше, глаз человека не может его увидеть.

Освещенность объекта. Для наблюдения объекта необходимо, чтобы он был достаточно освещен. При сильном снижении освещенности (например, в сумерки и ночью) способность глаза к восприятию различий яркости наблюдаемых предметов сильно уменьшается.

Яркость объекта и фона. Если объект имеет ту же яркость, что и фон (например, белый предмет на фоне снежного покрова), глаз не может увидеть такой объект.

Для того чтобы предмет стал заметным, его яркость должна отличаться от яркости фона не менее чем на 2%, а в сумерки на 60-70%

Прозрачность атмосферы – один из основных факторов, определяющих видимость.

Прозрачность атмосферы зависит от наличия в воздухе продуктов конденсации водяного пара, а также от большого количества твердых частиц, которые приводят к поглощению и рассеянию света в атмосфере.

Наибольшее рассеяние света происходит у поверхности земли, где наблюдается самая значительная концентрация взвешенных микрочастиц.



Вследствие этого доля светового потока, доходящего от предмета до наблюдателя, тем меньше, чем толще слой воздуха, через который проходит поток.

Прозрачность атмосферы характеризуется коэффициентов прозрачности, который показывает, насколько световой поток, проходящий через слой атмосферы толщиной 1 км, ослабляется находящимися в этом слое различными примесями.

Зрение наблюдателя. Зрение человека устроено таким образом, что при наблюдении близких или далеких предметов они видны в том случае, если они отличаются по яркости или по цвету от окружающих предметов. Это различие яркостей характеризуется контрастом.

Контраст определяется как отношение абсолютной яркости фона и объекта к большей из них.

$$K = \frac{B_{\phi} - B_o}{B_{\phi}} \quad \text{или} \quad K = \frac{B_o - B_{\phi}}{B_o}$$

где K – контраст, B_{ϕ} - видимая яркость фона, B_o – видимая яркость объекта.

Если объект темнее фона, то $B_{\phi} > B_o$.

Если объект светлее фона, то $B_o > B_{\phi}$.

Контраст изменяется от 0 до 1: $K=1$, если наблюдаем черный объект на светлом фоне или наоборот, и $K=0$, яркость объекта равна яркости фона ($B_o = B_{\phi}$).

Опыт показывает, что наш глаз способен отличать предмет от фона лишь в том случае, если яркостный контраст между ними не меньше некоторой предельно малой величины E . Наименьшее значение контраста, при котором глаз еще отличает объект от фона, называется порогом контрастной чувствительности глаза E .



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

По мере уменьшения контраста объект виден все хуже и перестает быть видимым, когда контраст (K) меньше порога контрастной чувствительности (E), т.е. $K < E$.

При дневных условиях E человеческого глаза изменяется от 0,02 до 0,05, а для ночных $E=0,6 - 0,7$.

С уменьшением угловых размеров объекта значение E увеличивается, а контраст уменьшается. Контраст может уменьшаться либо под влиянием увеличения расстояния до объекта, либо вследствие увеличения замутнения атмосферы.

Метеорологическая дальность видимости S_m - это дальность видимости в светлое время суток абсолютно черного объекта больших угловых размеров (не меньше 15'), проектирующегося на фон неба вблизи горизонта (или на фон воздушной дымки).

Метеорологическая дальность видимости, однозначно связанная с горизонтальной прозрачностью атмосферы, является одной из ее характеристик. На метеорологических станциях определяют либо S_m и по ее значению находят коэффициент прозрачности p (и другие оптические характеристики атмосферы), либо p и по его значению находят метеорологическую дальность видимости S_m .

Определение метеорологической дальности видимости очень важно при расчетах дальности видимости реальных объектов S , которая всегда несколько меньше S_m , но пропорциональна ей, т. е.

$$S = R * S_m.$$

Коэффициент пропорциональности R зависит от отражательной способности объекта и фона, порога контрастной чувствительности глаза и условий наблюдения (освещенности, облачности, осадков и пр.). Обычно коэффициентов R определяется специальными наблюдениями для разных, типичных для естественного ландшафта в разные сезоны сочетаний объекта



и фона, представляющих интерес для практики.

Дальность видимости в сумерки и ночью. В сумерки и ночью вследствие резкого уменьшения освещенности и, следовательно, быстрого возрастания порога контрастной чувствительности глаза видимость объектов утрачивается на расстояниях, значительно меньших, чем днем.

Таким образом, если днем видимость одних и тех же реальных объектов зависит в основном от прозрачности атмосферы (для достаточно больших объектов порог контрастной чувствительности глаза практически не меняется), то ночью и в сумерки она зависит главным образом от освещенности, а значит, от величины порога контрастной чувствительности глаза и в меньшей степени от прозрачности атмосферы. Поэтому в ночное время несамосветящиеся предметы не могут служить объектами для наблюдений за метеорологической дальностью видимости, так как в силу малой освещенности утрачивается однозначная связь между дальностью видимости этих предметов и прозрачностью воздуха.

Ночью метеорологическую дальность видимости определяют по точечным источникам света, т. е. по огням, удаленным от наблюдателя на такие большие расстояния, что их угловые размеры становятся меньше порога остроты зрения ($<1'$). В этом случае дальность видимости огней определяется не яркостным контрастом, как это было в случае больших несамосветящихся объектов, а освещенностью E , которую огни создают на зрачке глаза наблюдателя.

Дальность видимости одиночного огня - это расстояние, на котором он может быть обнаружен хотя бы в виде очень слабой светящейся точки, находящейся на крайнем пределе восприятия.

Метеорологическая дальность видимости ночью на сети станций определяется в основном визуально по дальности видимости огней.

Вертикальная и наклонная видимости. Вертикальная видимость - это



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

высота, начиная с которой различаются наземные предметы с идущего на посадку самолета, или высота, с которой обнаруживается самолет с земли. При наличии облачности вертикальная видимость ограничивается высотой нижней границы облаков. Однако нижняя граница облаков высотой не более 200-250 м почти никогда не бывает четкой и почти никогда не остается постоянной во времени. Чаще всего это чередование значительно различающихся по высоте частей облака или же постепенный переход от более плотного образования в менее плотное и в оптически меняющуюся с высотой подоблачную дымку. В обоих случаях высота нижней границы облаков, определяемая инструментально при наземных измерениях, и фактическая высота «открытия» земли, определяемая визуально пилотом с самолета, могут существенно различаться. На практике за вертикальную видимость часто принимают высоту, на которой «туманится» шар-пилот.

Еще сложнее обстоит дело с решением вопроса о наклонной видимости - расстоянии, на котором глаз отличает еще объект от фона при направлении луча зрения наклонно, под некоторым углом к горизонтальному направлению. Трудности решения этого вопроса заключаются в том, что вдоль луча зрения по мере изменения высоты над земной поверхностью изменяется коэффициент прозрачности p , меняется яркость воздушной дымки, не остаются постоянными и условия освещенности. Причем изменения эти, как правило, незакономерны. Кроме того, отдельные наземные объекты наблюдаются не на фоне неба, а на фоне земной поверхности, очень разнообразной по характеру, а объекты, находящиеся в воздухе, имеют очень малые размеры и цвет их отличается от черного. Поэтому контраст между фоном и объектом при определении наклонной (и вертикальной) видимости очень изменчив и зависит от множества факторов.

Наклонная видимость имеет очень большое практическое значение при наблюдении земных объектов с некоторой высоты, при обнаружении



аэродромных сооружений и взлетно-посадочной полосы летчиком при снижении самолета. Особенно важное значение она приобретает при плохой горизонтальной видимости и малой высоте нижней границы облаков.

Понятие о посадочной дальности видимости. Посадочной дальностью видимости называется такое предельно большое расстояние до взлетно-посадочной полосы, на котором пилот, следующий по глиссаде снижения, при плохой горизонтальной видимости может на пороговом восприятии увидеть и опознать начало взлетно-посадочной полосы.

Как известно, в настоящее время проблема слепого полета считается в основном решенной. Но заключительная и наиболее ответственная стадия полета - приземление, так же, как и взлет, до настоящего времени выполняется пилотом не по приборам, а путем визуального наблюдения аэродромных объектов (опознавательных знаков взлетно-посадочной полосы и сигнальных огней).

Таким образом, для обеспечения благополучной посадки самолетов и нормальной эксплуатации аэродромов необходимо знание наклонной, а точнее, посадочной видимости.