ОБЛАКА И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ ЯВЛЕНИЯ



Татьяна Игоревна МОРОЗОВА,
кандидат физико-математических наук
Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/S0044394826040079

Поступила в редакцию: 15.05.2026
Принята к публикации: 20.08.2026

Туман и облака, радуга и миражи – все эти явления, происходящие в земной атмосфере, очень хорошо нам знакомы, и именно они делают небо над нашей головой таким живописным. Поэтому большой интерес представляют особенности механизмов образования этих явлений и описание возможных экзотических случаев.

ТУМАН И ОБЛАКА

Образование облаков

В воздухе всегда присутствует какое-то количество паров воды, мы их не видим, но можем ощущать влажность, духоту или сухость, на возникновение которых они влияют. Если при определенных погодных условиях пары воды вместе с воздухом нагреваются, они поднимаются вверх и расширяются, так как давление становится меньше, что в итоге приводит к их охлаждению. Нагретый воздух всегда поднимается вверх, потому что он легче холодного при том же давлении. Когда в процессе охлаждения относительная влажность воздуха достигает 100%, невидимый водяной пар становится насыщенным и начинает конденсироваться, оседая на твердых частицах пыли, которые постоянно присутствуют в атмосфере и выполняют роль необходимых центров конденсации, что приводит к формированию жидких капель воды.Такой механизм работает и для облаков на разной высоте над поверхностью Земли (с высотой температура в атмосфере падает до 10–15 км, далее температурный профиль имеет более сложную зависимость от высоты,

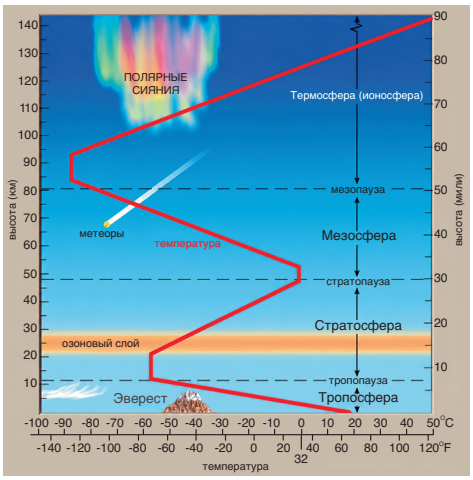


Рис. 1. Профиль температуры в атмосфере и два температурных минимума, которые соответствуют перламутровым и серебристым облакам. Источник: Интернет

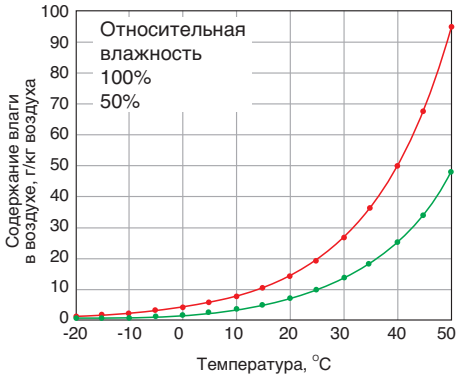


Рис. 2. Содержание влаги в воздухе в зависимости от его температуры. Источник: Интернет

рис. 1), и для тумана, который появляется в более низколежащих слоях, где также складываются природные условия для охлаждения водяных паров. При отрицательных температурах могут рождаться капельные облака (переохлажденные), кристаллические (из снега и льда) или смешанные (состоящие из смеси капель и кристаллов).

Но ведь облака появляются не всегда. Что же служит триггером для их появления, а что, наоборот, препятствует?

Потепление и интенсивное испарение воды с поверхности Земли и водоемов может приводить к образованию в воздухе паров воды большой концентрации. В сумерки прекращается конвекция с нагретой земной поверхности (при которой воздух с парами переносится вверх и далее конденсируется). Ночью может происходить конденсация из-за уменьшения температуры и образовываться туман. Стоит отметить, что холодный воздух вбирает в себя меньше влаги, чем теплый (рис. 2).

Динамические процессы в атмосфере приводят к формированию областей пониженного давления у земной поверхности. Возникающая при этом сходимость воздушных масс заставляет воздух устремляться к центру такой области и подниматься вверх. Именно эти вынужденные восходящие потоки обеспечивают последующее адиабатическое охлаждение поднимающегося воздуха и, как следствие, масштабное облакообразование. Облака – следствие, а не причина падения давления.

В ясные ночи может происходить радиационное охлаждение атмосферы, которое возникает за счет излучения энергии земной поверхностью в инфракрасном диапазоне и особенно интенсивно происходит в ясную и сухую погоду, когда мало водяного пара в атмосфере. Прилегающий к ней слой воздуха охлаждается за счет теплопроводности и турбулентного обмена с остывшей поверхностью, в то время как сама толща атмосферы теряет тепло через собственное длинноволновое излучение парниковых газов.

Давление идеального газа (в котором не учитывается объем частиц и силы притяжения между молекулами) представляется зависимостью $P = nkT$, где T – температура, n – концентрация частиц и k – постоянная Больцмана. Однако в реальности стоит также учитывать

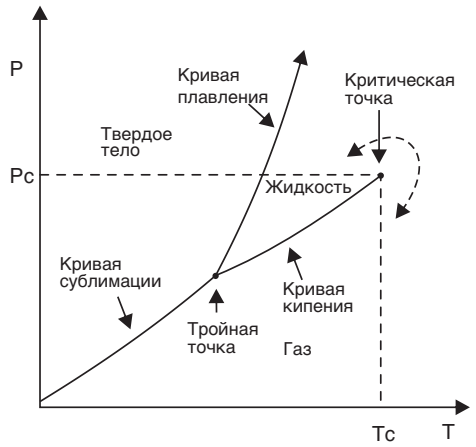


Рис. 3. Процессы перехода вещества из одной фазы в другую можно видеть из диаграммы состояний P(T). Источник: Интернет

объем, занимаемый молекулами газа, и давление, которое они создают.

Стоит также ввести такое понятие, как фазовый переход, т.е. переход из одного агрегатного состояния вещества в другое. Такие переходы вещества можно видеть на фазовой диаграмме зависимости давления от температуры.

Непосредственная картина образования облаков или их отсутствия из-за погодных условий выглядит так: в область низкого давления у поверхности Земли со всех сторон подтекает воздух. Затем он поднимается и остывает. Избыток влаги конденсируется, и образуются облака. В областях высокого давления картина противоположная: холодные массы, образовавшиеся на высоте, погружаются в окружающий теплый воздух и растекаются вдоль поверхности Земли. Поскольку на высоте они не могли содержать большого количества влаги, то и погода остается ясной.

Формирование дождя может происходить разными путями.

Дождевые облака формируются в конкретной точке, когда есть сильный нагрев поверхности: воздух поднимается вверх с конверторными потоками, охлаждается и конденсируется; воздух встречает препятствие (горы, холмы), что приводит к орографическим осадкам; сходятся воздушные массы разной температуры и влажности.

Могут также наблюдаться перемещающиеся системы – это фронтальные дожди, когда облачная система движется с воздушными массами.

Накопление влаги по пути происходит, когда облако проходит над источниками влаги (озера, реки, влажная почва) и «подпитывается» испарением.

Таким образом, дождевая туча может как постепенно выливаться на своем пути и иссякать, так и становиться гораздо массивнее.

В процессе развития в облаке образуются капли диаметром 50–200 мкм (морось), которые начинают медленно падать. В дальнейшем диаметр капель может увеличиваться до 500–5000 мкм (дождевые капли). Ледяные кристаллы, составляющие облака, различаются как по размеру, так и по форме. Снежинки имеют средний диаметр 5 мм и вес около 0.004 г.

Снег образуется, когда микроскопические капли воды в облаках притягиваются к пылевым частицам и замерзают. Появляющиеся при этом кристаллы льда, не превышающие поначалу 0.1 мм в диаметре, падают вниз и растут в результате конденсации на них влаги из воздуха. При этом образуются шестиконечные кристаллические формы.

Облака могут стать и грозовыми тучами, из которых в результате конвекционных движений водных капель (потоков и струй вещества, возникающих из-за неравномерности его нагрева) и разделения зарядов низ заряжается отрицательно, а верх – положительно. В результате этих процессов в облаке и разделения зарядов происходит усиление электрического поля и может образоваться пробой газа – известная всем молния.

Зимние грозы более редки, однако их тоже можно встретить в природе.

Для их существования должны совпасть несколько условий, как и для обычных гроз, которые в зимнее время наблюдаются нечасто (иногда раз в несколько лет в средних широтах) – достаточный градиент температур для конвекции, наличие влаги в воздухе и достаточное количество энергии от Солнца.

Грозы часто бывают в мае и летом, потому что складываются воедино все эти условия, а в осенние проливные дожди грозы практически не встречаются. Летом также сильна конвекция вследствие перепадов температур (из-за солнечного нагрева поверхности днем и резкого охлаждения ночью), и она приводит к образованию кучевых облаков, которые не наблюдаются ночью и зимой. Именно кучевые облака могут перерастать в грозовые. Однако летом не всегда в таких облаках достаточно влаги для образования молниевых разрядов, и грозы бывают только в дождливые периоды, а в мае испарения из почвы после зимы способствуют влажному воздуху, но тут для образования гроз важно, чтобы была жаркая погода. В средней полосе России летние грозы бывают чаще майских.

Грозы без дождя формируются, когда вблизи есть облака с повышенной конвекцией и молнии порождают ударными волнами звук, но в таких облаках еще не накапливается достаточно влаги для выпадения дождя. Либо ветер активно сгоняет часть облаков с влагой и она не успевает накопиться до критической массы для дождя.

Также сухие грозы могут возникать, когда в нижних слоях атмосферы под облаками настолько сухо, что падающий дождь испаряется, пока долетает до поверхности Земли. Такое явление называется вирга. Для его формирования необходимо, чтобы была высокая температура у поверхности Земли (обычно выше 35 °C), очень сухой воздух в нижних слоях атмосферы, достаточная влажность на высоте для образования облаков и сильные восходящие потоки для грозовой активности.

Грозы в обложных облаках возникают из-за относительного движения слоев облаков – отсюда возникает трение и разделение зарядов, а также неустойчивость Кельвина–Гельмгольца.

От грозовых туч также могут образовываться смерчи. Смерч – это область пониженного давления, которая засасывает внутрь себя окружающие предметы. Смерчи образуются, когда над нагретой земной поверхностью появляется холодный слой грозовой тучи, теплый слой стремится подняться над холодным и образуется неустойчивость, появляется брешь и туда устремляется теплый воздух из нижних слоев. Скорость струи высока, и она закручивается – так из основной тучи вырастает «хобот». Это и есть смерч. Скорость всасываемого воздуха так велика, что его струя закручивается и «хобот» вытягивается до поверхности Земли. Природа смерча такова, что внутри происходят сложные электрические, химические и акустические явления.

В грозовых облаках концентрация пыли и аэрозолей может достигать десятков тысяч частиц на кубический сантиметр. Восходящие потоки поднимают пыль, пыльцу, соли с поверхности морей на высоту до 10–15 км. Эти частицы служат ядрами конденсации для образования капель. Чем больше пыли, тем мельче капли в облаке, но их больше по количеству.

Связь атмосферных фронтов с образованием облаков. Циклоны и антициклоны

Для образования облаков большую роль играют атмосферные вихри (циклоны и антициклоны) и атмосферные фронты.

Циклон представляет собой масштабный атмосферный вихрь с низким давлением в центре, где воздух закручивается внутрь и поднимается вверх. Этот восходящий поток приводит к адиабатическому

охлаждению влаги, что неизбежно вызывает формирование плотных слоистых и кучево-дождевых облаков, приносящих затяжные или ливневые осадки. Антициклон, напротив, является областью высокого давления, в которой тяжелый воздух опускается из верхних слоев к земле и растекается в стороны. При опускании воздух сжимается и нагревается, из-за чего его относительная влажность падает, существующие облака испаряются и устанавливается сухая, ясная погода.

Атмосферный фронт определяется как узкая переходная зона или граница между двумя воздушными массами с разными физическими свойствами, прежде всего температурой и плотностью. Именно на этих границах происходит наиболее активное облакообразование, так как менее плотный теплый воздух вынужден подниматься над тяжелым холодным клином. В случае теплого фронта легкий воздух плавно скользит вверх по пологому склону холодного воздуха, создавая последовательную систему перистых, слоистых и дождевых облаков на сотни километров. При холодном фронте тяжелая масса стремительно подсекает теплую, выталкивая ее вертикально вверх, что приводит к взрывному росту мощных грозовых башен и к шквалам. Таким образом, циклоны являются основной ареной борьбы атмосферных фронтов, а облака служат визуальным индикатором того, какая именно воздушная масса в данный момент вытесняется вверх.

Связь между типом вихря и облаками определяется направлением движения воздуха: в циклоне восходящие потоки охлаждают пар, превращая его в мощные слоистые и дождевые системы, тогда как в антициклоне нисходящие потоки нагревают воздух, заставляя капли испаряться и очищая небо. Атмосферные фронты, будучи границами раздела теплых и холодных масс, выступают главными генераторами облачности внутри циклонов. На теплом фронте воздух плавно поднимается по широкому клину, создавая бесконечную пелену перистых и слоистых облаков, а на холодном фронте происходит резкое вытеснение влаги вверх, что формирует вертикальные башни грозовых кучевых облаков. Таким образом, облака являются прямым следствием механического столкновения разных температурных зон на фронтах, где динамика циклона заставляет влажный воздух подниматься и конденсироваться в видимые формы.

Теплому атмосферному фронту предшествуют перистые облака в виде тонких нитей или когтей, которые постепенно уплотняются, переходя в перисто-слоистую пелену, создающую эффект гало вокруг Солнца. Если небо затягивается сплошным серым слоем высоко-слоистых облаков, значит, скоро начнутся затяжные обложные осадки, а давление начнет плавно падать.

Перед приходом холодного фронта часто наступает затишье и давящая духота, после чего на горизонте вырастают огромные белые башни кучево-дождевых облаков с темным основанием и «наковальнями» на вершинах.

Кучевые облака могут появляться до и после прихода теплого фронта и до холодного, но их физическая природа и значение для прогноза радикально различаются. Перед холодным фронтом или внутри теплого сектора циклона они растут вертикально вверх, превращаясь в мощные башни из-за бурной конвекции: теплый влажный воздух быстро выталкивается в холодные слои, что приводит к грозам и ливням. После прохождения холодного фронта, когда наступает похолодание, кучевые облака становятся плоскими, разрозненными и напоминают ватные шарики – это облака хорошей погоды, которые возникают из-за небольшого прогрева приземного слоя Земли Солнцем при общем холодном фоне атмосферы. Таким образом, если вы видите,

что кучевые облака стремительно растут ввысь и темнеют в основании, это сигнал о приближении грозового фронта, а если они остаются небольшими, не растут вертикально и медленно плывут по небу, значит, фронт уже прошел и установилась стабильная прохладная погода.

В какие сезоны выпадает больше осадков и каков их характер? Осенью пасмурно и дождливо, так как Солнце меньше греет поверхность Земли, уменьшается испарение и температура поверхности, атмосфера становится более стабильной. Однако в это время года усиливается циклоническая активность, особенно в умеренных широтах. Циклоны приносят пасмурную, ветреную и дождливую погоду. Влага поступает, как правило, с западных морей (например, с Атлантики). Осенью преобладают длительные и моросящие дожди, в отличие от летних ливней.

Для осени характерны обложные дожди из-за особенностей атмосферной циркуляции в этот период. Осенью усиливается контраст температур между прогретыми еще морями и быстро остывающей сушей. Это создает мощные циклоны с обширными зонами слоисто-дождевых облаков.

Обложные дожди сильнее кучево-дождевых по общему количеству осадков, но не по интенсивности. Они могут идти сутками, покрывая огромные территории, тогда как ливни из кучевых облаков короче, но интенсивнее. Осенние циклоны несут больше влаги и движутся медленнее летних, отсюда и продолжительность дождей.

Холодный воздух содержит в себе меньше влаги, чем теплый, и летом можно наблюдать сильные ливни. Также в жаркие и солнечные дни в теплой массе воздуха могут возникать перегретые области, которые быстро уходят наверх и охлаждаются, а водяной пар внутри них превращается в капли – это дает короткие и мощные дожди. Летом редки дожди рано утром (при похолодании падает давление насыщенных паров и облака не собираются). Если лето жаркое, то ледники тают и зима морозная. Но если потепление глобальное, то и ледники не успевают намерзать.

В межсезонье раннее утро чаще оказывается ясным или с минимальной облачностью, и это связано прежде всего с термодинамикой приземного слоя и вертикальной структурой атмосферы. Весной и осенью ночное выхолаживание поверхности очень эффективно из-за сравнительно сухого воздуха и еще низкой теплоемкости почвы или растительности. За ночь формируется устойчивая приземная инверсия температуры, при которой холодный плотный воздух лежит у поверхности, а выше расположен более теплый слой. В такой ситуации вертикальные движения подавлены, конвекция практически отсутствует, и облакообразование снизу становится затрудненным.

Зимой и летом ситуация иная. Зимой атмосфера часто насыщена влагой за счет циклонов, фронтов и переноса теплого влажного воздуха над холодной поверхностью. Облачность и осадки в ранние утренние часы поддерживаются не локальным охлаждением, а крупномасштабной динамикой и фронтальными процессами. Даже при ночном охлаждении температура остается близкой к точке насыщения, поэтому облака и снег сохраняются. Летом же ночное выхолаживание слабее из-за высокой теплоемкости почвы и растительности, а остаточная турбулентность и влажность позволяют облакам существовать до утра.

В межсезонье после восхода Солнца приземный слой действительно прогревается довольно быстро, однако облаков уже нет к этому моменту не потому, что прогрев их разрушает, а потому, что условия для их формирования ночью были слабыми. Воздух часто оказывается недонасыщенным, а точка росы лежит значительно ниже ночной температуры. В результате конденсация либо не начи-




Рис. 4. Эволюция вида дождевой тучи при приближении. Фото автора

нается вовсе, либо ограничивается тонким туманом, который быстро рассеивается.

Туча темнее, когда дождь далеко, потому что если издалека смотреть на тучу, то ее оптическая толщина больше. Этот эффект аналогичен туману – когда находишься внутри тумана, он кажется не таким плотным и белым, потому что глаз захватывает меньше слоев повисших капель воды.

Когда туча встречает на своем пути влажные места, она подпитывается ими, тормозится и может изменить тем самым направление ветра.

Мокрая земля создает сильное испарение, особенно если Солнце начинает пригревать. Это дает мощный восходящий поток влажного воздуха, который буквально подпитывает тучу снизу. Получается замкнутый цикл: туча поливает поле, поле испаряет влагу, пар поднимается и укрепляет тучу, туча снова дождит.

Есть еще несколько причин, почему туча может застревать над одним местом:

- орографические препятствия: если рядом есть холмы, возвышенности или даже крупные здания, они создают турбулентность и восходящие потоки. Туча может буквально «зацепиться» за рельеф и крутиться в одной зоне;
- конвергенция воздушных масс: иногда над определенным местом сходятся потоки воздуха с разных направлений. Получается что-то вроде воздушного водоворота, где туча крутится, не имея четкого направления движения;
- термические эффекты: если под тучей есть источник тепла (большой город, водоем, асфальт), создается мощный восходящий поток, который буквально держит облако на месте, не давая ему уйти по ветру;
- инверсия температурных слоев: когда теплый воздух находится над холодным, это блокирует вертикальное движение. В итоге туча оказывается зажатой между слоями и может долго «болтаться» в одной зоне;
- слабый градиент давления: ветер на высоте тучи может быть очень слабым или разнонаправленным, тогда она движется хаотично или стоит почти на месте.

Классификация облаков

Мы с детства привыкли разделять облака на три основные категории: слоистые, кучевые и перистые (в порядке высоты их расположения на небе), однако классификация включает в себя множество подвидов облаков:

слоисто-кучевые (облака с волнообразной структурой);
- слоисто-дождевые (плотные серые обложные облака, которые и дают основные сильные осадки, зона осадков может достигать ширины 400 км и более, а высота самая низкая – порядка 100 м над землей);
- высокослоистые (серо-синяя пелена на достаточно большой высоте от 3 до 5 км и толщиной до 3 км);
- высококучевые (похожи на слоисто-кучевые, но более тонкие);
- перисто-слоистые (бело-голубая пелена, которая может достигать ширины фронта 800–900 км);
- перисто-кучевые (тонкая полупрозрачная рябь);
- мощно-кучевые и кучево-дождевые – они же облака вертикального развития. Это именно те облака, которые дают волю фантазии и создают небесные замки, фигуры зверей и другие картины на небе, которые наш мозг неустанно распознает. А игра воображения всегда доставляет радость.

Диковинные облака

Помимо привычных нам типов облаков существуют еще и диковинные виды, которые могут показаться наблюдателям только при строго определенных условиях погоды и времени года. Это перламутровые и серебристые облака. И для обоих видов облаков нужны ядра конденсации.

Перламутровые облака, также именуемые полярными стратосферными облаками, наблюдаются на высотах от 15 до 27 км в весенние и зимние месяцы в полярных широтах, где температура опускается ниже –78 … –85 °C в зависимости от типа данных облаков. Это достаточно редкое явление.

Для образования перламутровых облаков помимо аномально низких для данных высот атмосферы температур необходимы центры конденсации, которыми служат продукты извержений вулканов, создающие аэрозоль в воздухе – субмикронные капли водного раствора серной кислоты, которые как раз могут образоваться в стратосфере. Чтобы солнечные лучи рассеивались частицами на данных высотах, Солнце должно находиться не глубже 6° под горизонтом для многократного рассеяния и 4° для прямых солнечных лучей.

Также причиной возникновения перламутровых облаков могут быть акустико-гравитационные волны. При набегании воздушного потока на препятствия (например, на горы) частицы приобретают направленную скорость вверх или вниз и рождается волна, а в ней область пониженной температуры, что создает благоприятные условия для образования перламутровых облаков.

Наиболее благоприятные условия для развития данных волн следующие:
- направление ветра в пределах около 30° по отношению к линии горного хребта;
- сильные ветры на малых высотах в условиях стабильной атмосферы;
- скорость ветра не менее 20 узлов (10 м/с);
- увеличение скорости ветра с высотой.

В полярных районах высота нижележащей тропосферы не превышает 7–8 км. Вершина волны, таким образом, оказывается в стратосфере с ее температурным минимумом, что создает благоприятные условия для формирования там перламутровых облаков.

Перламутровые облака бывают нескольких видов, различающихся по своему химическому составу: типов Ia, Ib, II.

Облака типа I содержат азотную кислоту и воду. В частности, тип Ia состоит из кристаллов раствора азотной кислоты. Тип Ib содержит переохлажденные капли тернарного раствора (вода, серная и азотная кислоты). А тип II состоит исключительно из кристаллов льда. Облака разных типов отличаются также и по своему

агрегатному состоянию: облака типов Ia и II – это кристаллы, а Ib – жидкие капли. Соответственно, температуры для их образования тоже немного варьируются.

Облака типа I фактически рассеивают белый свет, но закатное Солнце подсвечивает его и получается розово-пурпурный. Именно закатное Солнце, которое проходит большую толщу атмосферы, где рассеиваются все цвета, кроме красного, придает облакам такой оттенок. Облака типа II рассеивают свет, приобретая радужные оттенки, потому что рассеяние осциллирует среди плотных частичек. За такую радужную палитру облака и были названы перламутровыми.



Рис. 5. Перламутровые облака над Антарктидой. Источник: Интернет

В декабре 2023 и январе 2025 г. такие удивительные явления удалось наблюдать на нехарактерно низких широтах – в Санкт-Петербурге, где в это время было потепление, давшее холод на стратосферных широтах.

О серебристых облаках подробно рассказывалось в моей статье в журнале «Земля и Вселенная» (Морозова, 2025). Здесь же только напомню, что серебристые облака – это самые высокие облака в нашей атмосфере. Они образуются летом в средних и полярных широтах на высотах 80–85 км. Именно тогда температура там падает ниже 150 К (или –123 °С – достигается ее минимум) и создаются условия для конденсации перенасыщенных паров воды. Конденсация происходит на частицах пыли метеорного вещества, присутствующих на данных высотах в результате сгорания метеорных тел. Данные процессы приводят к образованию ледяных частиц с размерами десятки и сотни нанометров.

В последние года из-за потепления нижней атмосферы и соответствующего похолодания и увлажнения верхней серебристые и перламутровые облака появляются южнее и чаще.



Рис. 6. Характерные полосы серебристых облаков. Фото автора

Кольцеобразные облака над горными вершинами

Облачные кольца также называются лентикулярными облаками, и выглядят они как белые летающие тарелки. Чаще всего их можно увидеть над вершинами гор. Они зависают в небе и могут находиться там достаточно долгое время, не реагируя на порывы ветра.

Такие облака образуются на гребнях воздушных волн или между двумя слоями воздуха и наблюдаются с подветренной стороны горных хребтов, за хребтами и отдельно стоящими вершинами на высоте от 2 до 15 км. Ветра здесь создают волновые потоки, где происходит непрерывный процесс конденсации водяных паров при достижении высоты точки росы и испарения при нисходящем движении воздуха. Поэтому такие облака неподвижно висят в пространстве. Триггером к появлению лентикулярных облаков служат сильные горизонтальные потоки воздуха, образующие волны над горными препятствиями и присутствие в воздухе достаточного количества влаги. Обычно это связано с приближением атмосферного фронта или с быстрым переносом воздуха из отдаленных районов.

Такие облака часто можно наблюдать на Камчатке, в Крыму и других районах, где преобладает чистый воздух и потоки ветра (часто от резкой смены климата в близлежащих районах) создают благоприятные условия для их появления.

Вымеобразные облака

Вымеобразные облака – это удивительные атмосферные явления, характеризующиеся ячеистыми образованиями, свисающими с нижней части облаков и приобретающими формы мешочков, ровно упорядоченных на небе, или форму вымени, от которого они получили такое название. Чаще всего они наблюдаются под «наковальней» кучево-дождевых облаков после грозы, однако могут наблюдаться не только под кучево-дождевыми облаками, но и под



Рис. 7. Лентикулярные облака над Авачинским и Корякским вулканами. Камчатка. Фото автора





Рис. 8. Вымеобразные облака. Источник: Интернет

другими типами облаков, такими как высококучевые, высокослоистые и даже перистые облака.

Они возникают из-за неустойчивости Рэлея–Тейлора – т.е. неустойчивости поверхности раздела жидкостей или газов с различными плотностями в поле тяготения, когда слой более плотной среды лежит в неустойчивом равновесии на слое менее плотной. Разница в плотностях слоев воздуха может возникать в результате радиационного охлаждения в атмосфере: верхняя часть облака может эффективно излучать тепло в космос, охлаждаясь и становясь более плотной, а это может привести к опусканию холодных участков облака, формируя вымеобразные образования.

Облака Asperitas

Облака Asperitas – это одни из самых грозных облаков, принимающие поистине дьявольский вид. Такие облака были замечены сравнительно недавно и в 2017 г. признаны Всемирной метеорологической организацией как дополнительная черта облаков. Их внешний вид отличается хаотичными волнообразными структурами на нижней поверхности облаков и похож на турбулентные завихрения и волны, прямо как на картинах Ван Гога. Несмотря на угрожающий внешний вид этих облаков, они редко сопровождаются осадками или штормами. Наиболее часто они наблюдаются в утренние или дневные часы после грозовой активности.

Такие облака могут наблюдаться при наличии в атмосфере слоев воздуха с разной скоростью и осцилляций элементов среды на границе раздела данных слоев. При этом происходит так называемая раскачка неустойчивости Кельвина–Гельмгольца – неустойчивости, возникающей на границе раздела слоев с разной скоростью. Разницу в плотности движущихся слоев воздуха и, как следствие, в их скорости могут вызывать гравитационные волны, а также ветровые сдвиги и различные атмосферные возмущения: грозовая активность, турбулентные потоки, испарения осадков и другие.



Рис. 9. Облака Asperitas. Источник: Интернет

Радужные облака

Радужные облака – это радужные переливы в перистых, перисто-кучевых и высококучевых облаках. Такой эффект возникает из-за дифракции света на мельчайших капельках воды или кристаллах льда одинакового размера, составляющих облака. Именно одинаковых, так как если частицы мелкие (обычно менее 15 мкм) и имеют одинаковый размер, то дифракция видна хорошо, потому что при дифракции угол отклонения света зависит от размера частицы. Так, если капли или кристаллики имеют примерно одинаковый размер, то свет одной и той же длины волны отклоняется на них почти одинаково. Дифракция – это отклонение света, приводящее к появлению радужных цветов, разложение света на составляющие его длины волн. Радужные цвета появляются потому, что для каждой длины волны существует свой угол дифракции, в результате чего белый свет раскладывается в спектр. Чем более однородны по размеру эти частицы, тем ярче и четче проявляется этот эффект.

Если размеры частиц сильно различаются, цвета смешиваются и становятся неразличимыми. В плотных облаках свет рассеивается многократно, что приводит к потере цветовых эффектов.

Лучше всего наблюдать радужные облака, когда Солнце закрыто облаками или находится низко над горизонтом. Они обычно видны вблизи Солнца, на расстоянии до 10° от него. Однако при определенных условиях она может распространяться на углы до 40°.



Рис. 10. Радужные облака. Источник: Интернет

Когтевидные облака

Когтевидные облака представляют собой разновидность перистых облаков, образующихся на высотах от 6 до 12 км при температурах от –25 до –60 °С. Их характерная изогнутая форма с загнутыми концами возникает в результате взаимодействия воздушных потоков разной скорости в верхних слоях атмосферы.

Механизм формирования этих облаков основан на явлении вертикального сдвига ветра. Когда восходящий поток воздуха поднимает водяные пары в верхние слои тропосферы, они кристаллизуются в ледяные частицы. Поскольку скорость ветра на разных высотах различается, верхняя часть формирующегося облака попадает в более быстрый



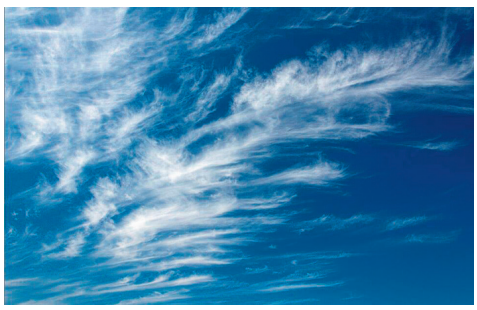


Рис. 11. Когтевидные облака. Источник: Интернет

воздушный поток, а нижняя остается в медленном. Эта разность скоростей растягивает облако, создавая его характерную форму, где передняя часть движется быстрее и постепенно загибается вниз под действием гравитации.

Ледяные кристаллы в когтевидных облаках имеют форму столбиков и пластинок размером от 10 до 100 микрон. При падении они подвергаются сублимации, переходя из твердого состояния сразу в газообразное, поэтому редко достигают поверхности Земли. Температурный градиент и изменение влажности по высоте определяют, насколько интенсивным будет облако и как долго оно просуществует.

Когтевидные облака служат надежным индикатором приближающихся погодных изменений. Они появляются за 24–48 ч до прихода циклона, указывают на усиление ветра в средних и верхних слоях атмосферы и предвещают повышение влажности с возможными осадками. В этих облаках часто наблюдаются различные оптические явления, такие как гало, ложные солнца и световые столбы, которые возникают из-за преломления и отражения света в шестигранных ледяных кристаллах.

Географически когтевидные облака встречаются во всех широтах, но наиболее часто наблюдаются в умеренных широтах между 40 и 60°, над океанами в зонах циклонической активности и в горных районах с развитой вертикальной циркуляцией воздуха. Продолжительность их существования варьируется от нескольких минут до нескольких часов в зависимости от атмосферных условий.

Изгиб когтевидных облаков возникает из-за сильных вертикальных сдвигов ветра на больших высотах: более тяжелые ледяные кристаллы падают вниз и попадают в слои атмосферы с другой скоростью или направлением движения, что вытягивает их в шлейфы, напоминающие запятые. Перед теплым фронтом первыми появляются именно они, поскольку теплый воздух, медленно наползая на холодный, начинает подниматься вверх за сотни километров до самой линии фронта, формируя ледяные облака в самых верхних слоях тропосферы. Если обычные перистые облака могут быть разбросаны хаотично, то перед теплым фронтом когтевидные нити движутся стройными параллельными полосами, постепенно сменяясь сплошной вуалью перисто-слоистых облаков, что служит надежным признаком скорого наступления затяжных осадков через 12–24 ч.

В противовес этому обычные перистые облака в виде беспорядочных нитей или пелены часто возникают в стабильном антициклоне при отсутствии четко выраженного фронта и не предвещают смены погоды. С точки зрения физики они образуются из-за слабой турбулентности в верхних слоях тропосферы, где водяной пар кристаллизуется в лед при экстремально низких температурах, но не имеет мощного направленного потока. В отличие от фронтальных «когтей», которые идут ровными рядами и затягивают небо, обычные перистые облака могут быстро появляться и так же бесследно таять, указывая лишь на локальное движение влаги на высоте десяти километров. Если такие облака не уплотняются и не сменяются слоистой пеленой, это свидетельствует о сохранении ясной и сухой погоды, так как в атмосфере нет масштабного восходящего движения теплой воздушной массы. Таким образом, разница заключается в системности: «когти» – это передний край наступающего циклона, а разрозненные перья – это просто следствие естественных колебаний влажности и ветра в высокой стратосфере.

Когтевидные облака в марте часто сбивают прогноз приближения циклона, потому что весенний воздух у земли слишком сухой – любые осадки из них просто испаряются в полете. Кроме того,

такие «крючки» могут возникнуть из-за обычных завихрений ветра на высоте, которые не связаны с мощным циклоном. Чтобы погода испортилась по-настоящему, облака должны быстро смениться плотной серой пеленой, а в марте они часто так и остаются одиночными украшениями неба. Также когтевидные облака могут не оправдывать прогнозов летом и зимой при сильных антициклонах. Летом в жару влага наверху может просто перемешиваться из-за турбулентности, не переходя в грозу, а зимой в мороз они часто висят на краях зон высокого давления, где воздух слишком холодный и сухой для образования полноценного снегопада.

Туман

В отличие от облаков туман практически не поднимается вверх и остается непосредственно у земной поверхности.

Туман – это взвешенные в воздухе капли воды и (или) кристаллы льда, понижающие горизонтальную видимость до 1 км. Радиус капель тумана обычно колеблется от 1 до 60 мкм. Менее плотная, чем туман, совокупность капель и кристаллов, при которой горизонтальная видимость составляет более 1 км, называется дымкой. Кроме того, размеры капель при дымке меньше, чем в тумане, что тоже влияет на видимость. Туман и дымка – результат конденсации и сублимации водяного пара в приземном слое атмосферы. Они могут возникать как при положительной, так и при отрицательной температуре воздуха, если достигается точка росы и в воздухе есть ядра конденсации – частички, на которых впоследствии образуется лед. Такие частицы необходимы для осуществления фазового перехода. При образовании туманов главной причиной насыщения воздуха является охлаждение его от земной поверхности, а не адиабатическое понижение температуры.

Туман образуется после жаркого дня, когда температура воздуха падает и все испарившиеся охлажденные пары воды концентрируются в меньшем объеме (когда холодный воздух опускается вниз, прибивая их к земле). При охлаждении давление насыщенного пара уменьшается, поэтому относительная влажность растет и достигается насыщение. Чем холоднее и чем более резкий перепад температур, тем больше дневных испарений и последующего ночного конденсата.

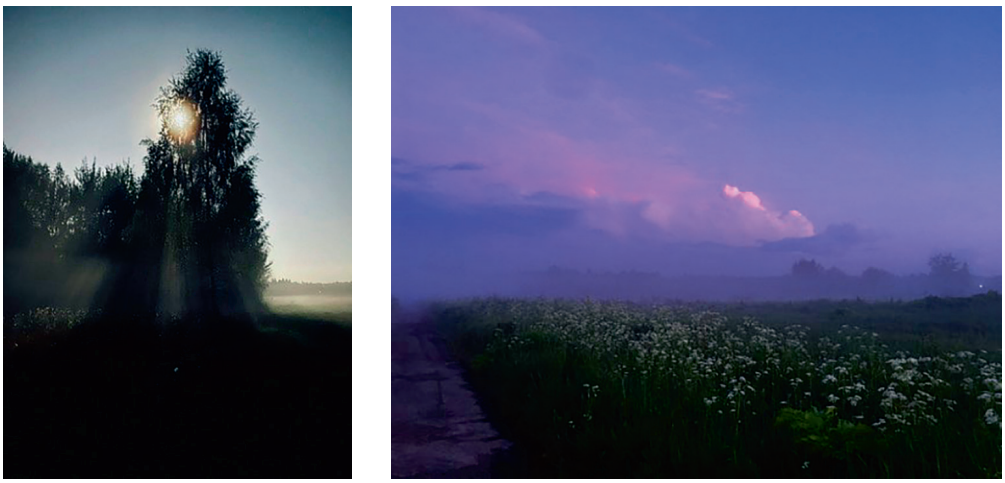


Рис. 12. Туманы над полем вечером и ночью. Фото автора

Туманы часто возникают в низинах, куда стекает более холодный и плотный воздух. Возле водоемов их образованию дополнительно способствует повышенная влажность: воздух там ближе к насыщению, поэтому для конденсации достаточно меньшего понижения температуры.

Если после жарких дней стоит прохладная ночь, то над полем возникает дымка. При этом над рельефами местности могут образовываться причудливые туманные арки. Однако если прохлада наступает очень резко и сильно, то нет достаточных испарений либо на фазовой диаграмме точка не доходит до условий конденсации, тогда влага остается в листве и та начинает преть. Если и ночи, и дни теплые, то температура не падает до температуры конденсации и туман не образуется. Но в воздухе все равно есть испаренная влага, и если есть холодный предмет, то на нем может выпасть конденсат. Например, конденсат легко увидеть на экране ноутбука, если работать на природе в прохладный и влажный день. Если и ночи, и дни холодные, то нет испарений и, соответственно, тумана. В траве холод от земли дает условия конденсации.

Туманы присутствуют, когда наблюдается резкий градиент температуры и влага успевает достаточно испариться. Влага всегда есть в почве, происходит ее круговорот.

В холодное время года туман может возникать, когда днем температура воздуха положительная, а ночью из-за радиационного охлаждения опускается ниже 0 °C. В этом случае мельчайшие капли воды могут замерзать, образуя ледяные кристаллики или так называемый снежный туман, который может медленно оседать на землю.

От тумана и дымки следует отличать мглу – помутнение нижних слоев атмосферы за счет взвешенных в воздухе частиц пыли, гари и дыма при лесных и торфяных пожарах (своеобразный «сухой туман»).

В случае облаков и тумана возникает так называемое рассеяние Ми, в отличие от атмосферного воздуха, где работает рассеяние Рэлея. Рассеяние Ми появляется, когда частицы в воздухе примерно сопоставимы по размеру с длиной волны видимого света. В отличие от рассеяния Рэлея, которое сильнее действует на коротковолновую синюю часть спектра и поэтому окрашивает небо в голубой цвет, рассеяние Ми не зависит так резко от длины волны. Оно распределяет свет более равномерно по всему видимому спектру, из-за чего смешанные лучи доходят до глаза практически без выраженного преобладания какого-либо цвета. В результате наблюдатель воспринимает туман или облако как белое или сероватое образование, потому что все цвета спектра накладываются друг на друга и создают визуальный эффект нейтрального оттенка. Серый цвет появляется потому, что в условиях тумана или облака часть света не только рассеивается, но и поглощается самими каплями или загрязняющими примесями. Также в случае дыма, сажи и пыли, повисшей в воздухе, будет действовать рассеяние на крупных частицах больше микрона.

Интересные наблюдения

Зимой испарения сильнее в небе над лесом, чем над полем, так как на единицу объема леса приходится больше поверхности, занятой снегом (поверхность елок в объеме, а не плоская поверхность поля, к примеру), поэтому над лесом небо кажется светлее из-за рассеивания света испарениями.

Ветер сдувает теплый воздух, разогретый теплом человеческого тела, и на ветру ощущается холоднее, если это не теплый ветер, приносящий теплый фронт.

С влажностью дело обстоит сложнее. Когда только начинает идти снег или дождь и она повышается, то кажется,

что теплеет, потому что молекулы воды с направленной скоростью разгоняют молекулы воздуха и те движутся быстрее, да и сами молекулы воды ударяют о кожу, производя кажущийся эффект тепла. Однако застойная влажность с уже остывшими и замедлившимися молекулами имеет обратный эффект – они висят в воздухе и не дают разогнаться молекулам воздуха, в итоге те «стукаются» о повисшие водяные пары и замедляются и к тому же через туманный барьер хуже доходят до нашего тела. Тепло либо когда только начали выпадать осадки и их направленное движение согревает, либо когда сухо. Когда царит застойная влажность, то ощущается промозглый холод.

Сами по себе капельки жидкости вбирают тепло вследствие большой теплопроводности воды и оказывают охлаждающий эффект. Хотя они, так же, как и воздух, могут ударяться о стенку термометра, показывая температуру, но будут препятствовать прохождению молекул воздуха к коже.

Бывает сухой колючий мороз, когда скопившиеся газы не уходят и охлаждают. Другими словами, холодно, когда или застой, или ветер, и нет градиента на потепление. Тепло же тогда, когда есть небольшая влажность, но не повисшие молекулы, которые остужают. А когда сухо, то охлаждение происходит быстрее, потому что в единице объема больше молекул воздуха. При понижении температуры уменьшается давление насыщенного водяного пара. Общее давление воздуха при этом не обязано заметно меняться. Молекулы воздуха имеют бóльшую скорость, чем водяные капли, и быстрее передают свой импульс поверхностям термометра и рабочему телу, повышая давление и нагревая его. Однако если испарения появляются от жары, то они своим тепловым движением согревают окружающий воздух.

В дождь кажется, что холодает, потому что капли охлаждают и не дают задерживаться у кожи теплым молекулам. В итоге тело начинает нагревать кожу и кажется, что температура поднимается и от этого всему организму холоднее, так как баланс тепла в целом сохраняется.

Если положить одежду на землю в жаркий день, а потом поместить ее в пакет, то выпадет конденсат (как на траве). Она собирает на себе испарения в жаркий день с земли, потом они охлаждаются и выпадают в капли воды. В нежаркий и несолнечный день такого не происходит.

Во влажную и пасмурную погоду дым часто стелется по земле не из-за меньшей плотности влажного воздуха, а из-за слабого вертикального перемешивания атмосферы. При высокой влажности и слабом прогреве поверхности конвективные потоки ослабевают, а иногда возникает температурная инверсия, мешающая дыму подниматься вверх. Кроме того, дымовые частицы могут поглощать влагу и дольше удерживаться в приземном слое воздуха.

Дым, вышедший из печной трубы, представляет собой облако горячего газа, насыщенного частицами продуктов горения (золы). И из-за большей температуры, чем у воздуха, в противовес рассмотренной ранее ситуации в тихую морозную погоду дым из труб поднимается вертикально вверх.

Подниматься частицы дыма могут также из-за конвективных процессов, например из-за тепловых потоков у разогретой земли или внешних источников тепла, таких как костер.

В облачную погоду и туман звуки глуше, так как хаотичные образования в атмосфере не дают беспрепятственно проходить звуковым волнам. Однако здесь идут конкурирующие процессы. Во влажную погоду звуки слышны сильнее, так как молярная масса капель воды меньше, чем воздуха и, таким образом, скорость звука получается больше. Но если взвешенные в воздухе капли

распределены неравномерно по пространству и не образуют сплошную среду, то такие неоднородности будут, наоборот, глушить звуковые волны. Также интенсивность звуковых волн ниже при понижении температуры воздуха.

Звук в тумане обычно слышен лучше и дальше. Капли воды рассеивают высокие частоты, но при этом уменьшается турбулентность воздуха и заглушающие эффекты, поэтому звуки слышны отчетливее.

Ощущение, что предметы в тумане расположены ближе – не иллюзия. Туман снижает контраст и убирает привычные ориентиры глубины. При рассеянном свете фонарей возникает эффект светящегося ореола, границы объектов размываются, и мозг интерпретирует это как меньшую дистанцию. Происходит следующий эффект: когда вокруг источника появляется ореол, его угловой размер на сетчатке увеличивается, границы размываются и исчезают четкие контуры. Мозг обычно оценивает расстояние по контрасту и резкости краев – чем объект четче и меньше по угловому размеру, тем он кажется дальше.

Сам туман рассеивается, когда меняется баланс температуры и влажности. Либо воздух прогревается и капли испаряются, либо усиливается ветер и перемешивает слои воздуха, либо падает влажность. Часто утром туман исчезает именно из-за нагрева поверхности и разрушения температурной инверсии.

Иногда встречаются ситуации, когда в более холодной низине тумана нет, а на горке рядом – есть. Такой кажущийся парадокс происходит, когда поток воздуха движется горизонтально и встречает склон – тогда он вынужден подниматься вверх вдоль поверхности. При подъеме давление падает, воздух расширяется и охлаждается. Если он изначально достаточно влажный, при охлаждении достигается насыщение и появляется туман. Условие образования тумана – достижение насыщения именно в конкретном слое воздуха. Поэтому на возвышенности появляется слой, где уже произошла конденсация, а внизу, где воздух еще не поднялся и не остыл, тумана может не быть.

РАДУГА И МИРАЖИ

Радуга

Радуга – это поистине удивительное природное явление, показывающее нам свои многообразные цвета в результате преломления солнечных лучей на сферических капельках воды, висящих воздухе. Часто это происходит после дождя, когда таких капель достаточно много, а луч света уже прокрадывается через тучи, чтобы подсветить эти капли.

Чтобы радуга смогла сформироваться, солнечный свет должен попасть в каплю под углом не более 42° над горизонтом. Поэтому наблюдать радугу можно только в вечерние часы. Когда луч света проникает в дождевую каплю и преломляется, он раскладывается на составляющие его цвета. Красный свет преломляется, или изгибается, меньше всех, а фиолетовый – сильнее всех. При однократном внутреннем отражении луч выходит из капли под углом 42°.

Бывает и вторичная радуга, которая образуется за счет того, что луч света два раза преломляется внутри капли и выходит под углом 51° (а в саму каплю он попадает под углом 50–60°). Третичная радуга теоретически тоже может существовать (и не только она, а также радуги более высоких «измерений»), но в природе практически невозможно достичь такой конфигурации солнечного луча по отношению к наблюдателю, чтобы увидеть эту радугу. Третичная радуга формируется из лучей, которые отражаются внутри капли три раза и выходят под углом 138° – т.е. в том же направле-

нии, что и падающий солнечный свет, в сторону Солнца, под углом 42° к нему. Поскольку третичная радуга формируется на фоне яркого неба рядом с Солнцем, она чрезвычайно тусклая. Она сильно подавляется рассеянным солнечным светом и может быть замечена только при особых условиях, что в природе редко реализуется: во время сильных гроз с хорошо освещенными дождевыми облаками (очень яркие и крупные капли дождя и темный фон облаков), Солнце не слишком высоко, наблюдатель смотрит очень близко к области вокруг Солнца, воздух необычно чистый и слабо рассеивает свет. Однако в лаборатории вполне можно создать условия для наблюдения радуг высоких порядков.



Рис. 13. Радуга. Источник: Интернет

Но почему же получается, что из большого равномерно расположенного в воздухе облака, содержащего капельки воды, выходит именно ровная дуга радуги, имеющая всегда такую форму? Это определяется положением наблюдателя относительно облака и тем, как солнечные лучи, преломленные в каплях, попадают ему в глаз. Другими словами, есть зависимость от угла падения солнечных лучей на облако, формы капель и того, под каким углом вышли преломленные лучи – такой угловой размер будет и у радуги (соответственно 42 и 52° для первичной и вторичной радуг). Только те капли, которые отбрасывают свет под определенным углом к глазу наблюдателя, дают радугу. Из всех капель в облаке только те, которые находятся под углом точно 42° от линии «Солнце – наблюдатель – антисолнечная точка», могут отправить свет обратно к наблюдателю. Все такие капли

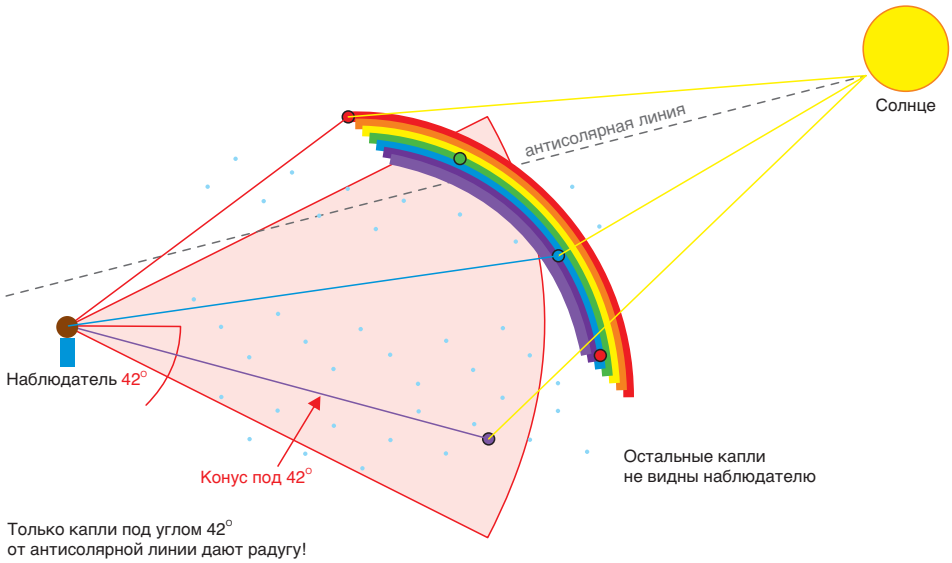


Рис. 14. Облако водяных капель, создающих радугу. Источник: Интернет

образуют поверхность конуса с вершиной в глазах наблюдателя и углом раствора 42°. Когда этот невидимый конус пересекается с реальным облаком капель, получается дуга окружности – радуга. При этом угол дуги самой радуги тоже все время одинаков и составляет 42°, а для вторичной радуги – 52°.

Капли воды в воздухе действительно можно считать сферическими из-за их поверхностного натяжения. Атмосферные капли обычно небольшие (диаметром ~0.01–1 мм), поэтому сила поверхностного натяжения преобладает над гравитацией и капли остаются почти идеальными сферами. Однако стоит отметить, что крупные капли (более 2–3 мм) могут становиться приплюснутыми снизу или даже распадаться – поэтому они делают радугу более размытой.

Темная полоса, которая находится между первичной и вторичной радугами, называется полосой Александра. Она получила свое наименование по имени древнегреческого философа Александра Афродисийского, впервые описавшего ее в 200 г.н.э. Она оказывается темнее остального неба вне радуг, потому что снаружи вторичной радуги или внутри первичной падает рассеянный солнечный свет, отраженный от облаков, воздуха и прочих капель, не участвующих в радуге. Поэтому по бокам радуг – и внутри первой, и снаружи второй – небо кажется светлее, чем в промежутке между ними.

Еще одно радужное явление – брокенский призрак – появляется, когда Солнце светит из-за альпиниста, смотрящего вниз с хребта или пика в туман. Тень альпиниста идет сквозь туман, часто принимая причудливые угловатые очертания, вызванные перспективой. Кажущееся увеличение размеров тени – оптическая иллюзия, объясняемая тем, что наблюдатель соизмеряет свою тень, лежащую на относительно близких облаках, с далекими объектами поверхности, видимой сквозь просветы в облаках; или когда невозможно сориентироваться в тумане и оценить и сравнить размеры. Кроме того, тени попадают на капли воды, находящиеся на различных расстояниях от глаз, что нарушает восприятие глубины. Брокенский призрак зачастую окружен светящимися кольцами разного цвета – глорией. Они появляются прямо напротив Солнца, когда солнечный свет отражается от облаков, состоящих из капель воды одинакового размера. Эффект обусловлен дифракцией света. Глория представляет собой цветные



Рис. 15. Полоса Александра. Источник: Интернет

кольца света 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 – 5–20°, в зависимости от размера капель в облаке.

Почему же получается, что угловой размер глории намного меньше, чем у радуги? Если радуга – это результат преломления и отражения света внутри капель воды (геометрическая оптика), то глория создается за счет дифракции и интерференции. Для глории идет в ход уже волновая оптика. В этом случае свет огибает мельчайшие капельки воды (явление дифракции) и световые волны накладываются друг на друга (интерферируют). Наиболее выраженный эффект возникает, когда наблюдатель смотрит в направлении своей тени, а перед ним находится облако или туман. Глория концентрируется строго вблизи тени головы наблюдателя и имеет вид светящихся цветных колец. Поскольку интерференционные и дифракционные явления действуют на гораздо меньших угловых масштабах, угловой радиус глории получается значительно меньше – от 5° до примерно 20°, в зависимости от размеров капель.



Рис. 16. Фото броккенского призрака. Источник: Интернет

Миражи

Миражи возникают, когда встречаются два слоя воздуха, разных по температуре и, соответственно, плотности, которые работают как призма. Преломление возникает от нескольких увеличивающихся или уменьшающихся по плотности слоев воздуха. При этом достигается предельный угол преломления, когда луч света испытывает обратное отражение.

Этот угол зависит от показателей преломления среды и вычисляется из простой формулы

$$\sin \alpha / \sin \gamma = n_2 / n_1,$$

где α и γ – углы падения и отражения, а n_1 и n_2 –показатели преломления двух сред.

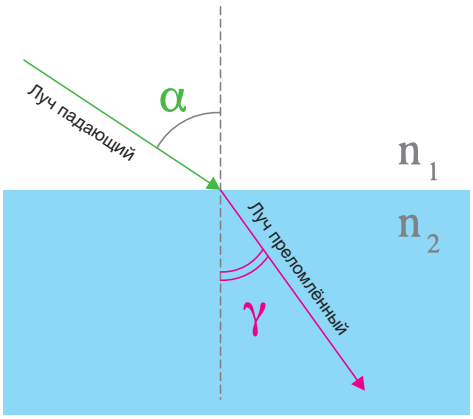


Рис. 17. Преломление луча света происходит на границе раздела сред с различными показателями преломления. Источник: Интернет

Различают несколько видов миражей: верхний, нижний, боковой, фата-моргана, мираж дальнего видения, броккенский призрак.

Верхний мираж может появляться, когда есть инверсивное распределение температуры у поверхности Земли, т.е. холодный воздух находится внизу, а теплый – наверху, что может происходить,

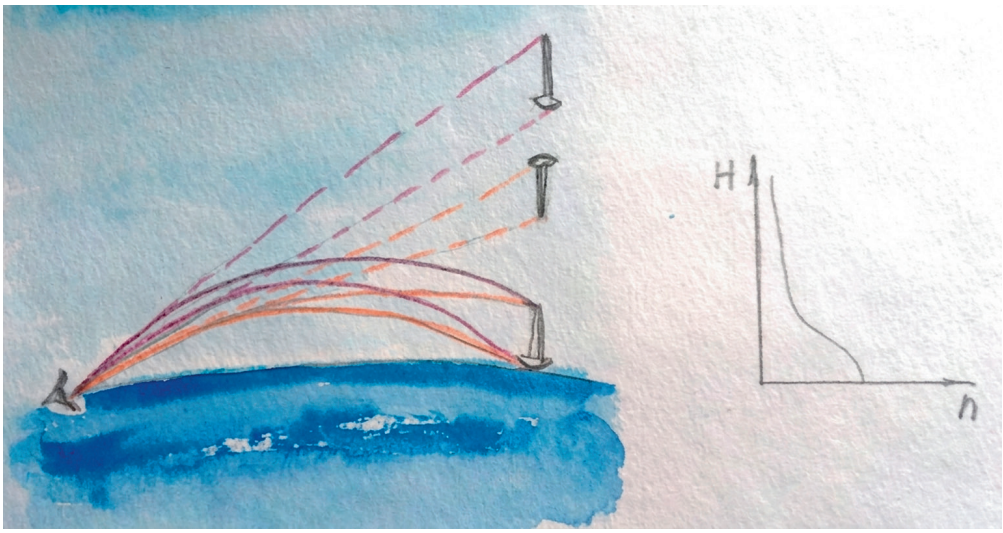


Рис. 18. Верхний мираж и график зависимости показателя преломления воздуха от высоты. Случаи прямого и перевернутого изображения в зависимости от скорости убывания плотности воздуха с высотой. Рисунок Н.В. Морозовой

например, в случае ледяного поля. Холодный воздух более плотный, чем теплый, и лучи света сильно изгибаются в нем. Если проследить за ходом лучей, то в зависимости от того, насколько быстро падает температура слоев воздуха и загибается ли больше луч от верхней границы предмета или от нижней, верхний мираж может дать как прямое, так и перевернутое изображение.

Когда же внизу находится теплый воздух, а сверху холодный, то такое распределение слоев воздушных масс создает нижний мираж, который во всех ситуациях дает прямое изображение предмета. Он появляется над разогретой поверхностью, где после слоя горячего воздуха идет холодный. Эта ситуация характерна для пустыни в дневное время. Также в жаркий день такой мираж можно наблюдать над разогретой дорогой. Тогда можно увидеть, например, повторяющиеся лужи на полотне дороги, в которых отражается небо.

В данном случае ход лучей складывается таким образом, что ближе к земле лучи преломляются под все бо́льшим углом к нормали к поверхности, искривляются и попадают в глаз, словно отразившись от земли. Глаз, в свою очередь, достраивает изображение по касательной к пришедшему лучу, и оно оказывается как будто на земле – отсюда и получается «вода в пустыне» или «лужи на дороге».

Верхние миражи случаются реже, чем нижние, однако верхние миражи более стабильны. Если внизу холодный воздух, а наверху теплый, то слои воздуха меньше перемешиваются, а значит, мираж остается виден дольше.

Есть и еще один загадочный вид миража: фата-моргана – редкое оптическое атмосферное явление в атмосфере, состоящее из нескольких форм миражей, при котором отдаленные объекты могут быть видны многократно и сам вид объектов претерпевает изменения по форме. Возникает такой мираж при нелинейном распределении теплого и холодного воздуха в атмосфере, а также при чередовании таких слоев.

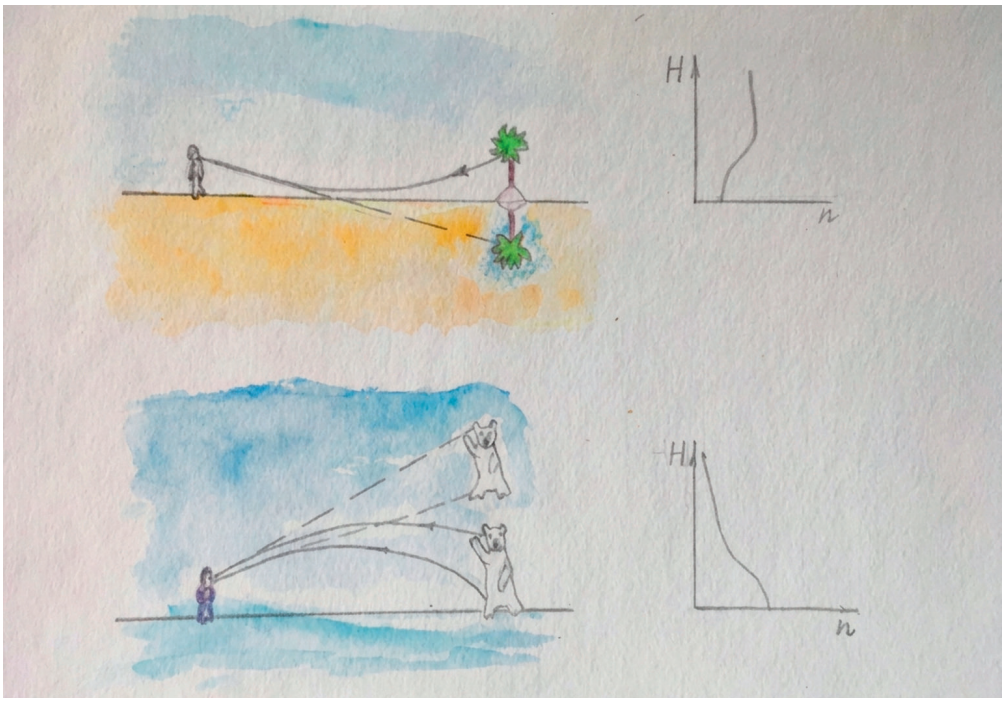


Рис. 19. Нижний и верхний миражи и показатель преломления воздуха от высоты. Рисунок Н.В. Морозовой

Фата-моргана возникает в тех случаях, когда в нижних слоях атмосферы образуется (обычно вследствие разницы температур) несколько чередующихся слоев воздуха различной плотности, способных давать зеркальные отражения. В результате отражения, а также и преломления лучей реально существующие объекты дают на горизонте или над ним по нескольку искаженных изображений, частично накладывающихся друг на друга и быстро меняющихся во времени, что и создает причудливую картину фата-морганы. Название этому явлению было дано по имени феи Морганы из легенд о короле Артуре, которая создавала призрачные замки и гавани, чтобы сбивать с толку путешественников. Фата-моргана часто образуется в местностях, где дуют ветра с гор и поток воздуха образуется неравномерно по слоям.

Боковой мираж по принципу действия похож на нижний, но в данном случае отражение идет от вертикальной поверхности, например от нагретой стены.

Мираж дальнего видения образуется, когда в случае очень чистой атмосферы ход преломления лучей совпадает с линией их огибания земной поверхности, тогда можно увидеть зашедшее уже сравнительно давно Солнце – оно как будто возвращается на наш горизонт. Мираж дальнего видения по сути представляет собой верхний мираж, разница здесь заключается лишь в том, что путь лучей оказывается сильно длиннее.

Ночные миражи также бывают. Мираж, как мы знаем, это искривление световых лучей в атмосфере из-за градиента температуры и плотности воздуха. Ночью, если есть источник света – например, Луна или огни города – и температур-



Рис. 20. Причудливые изображения фата-морганы. Источник: Интернет

Рис. 21. Боковой мираж. Рисунок слева: луч изгибается так что Солнце видно прямо в стене. Стена горячая, воздух рядом холодный. Такая ситуация бывает когда солнце взошло, согрело скалы на берегу моря. Скалы уже прогрелись, а воздух над морем и само море еще холодные. Рисунок справа: стена холодная, воздух теплый: Солнце хоть и рядом, а видно где-то вдалеке справа. Такая ситуация бывает, когда стена дома еще не прогрелась, а воздух уже теплый. Рисунок Н.В. Морозовой

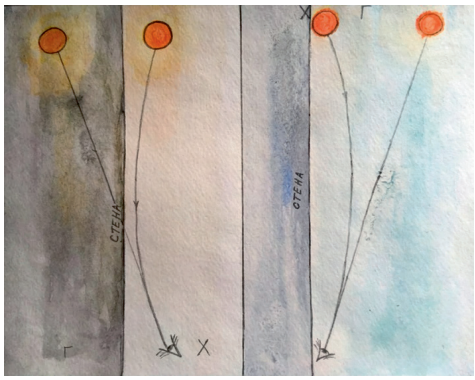




Рис. 22. Мираж дальнего видения. Рисунок Н.В. Морозовой

ная инверсия, лучи искривляются. Можно увидеть отражение огней далекого города на горизонте, который обычно за изгибом Земли. Или звезды мерцают сильнее и смещаются из-за турбулентности воздуха.

Все удивительные явления земной атмосферы можно описывать до бесконечности. Они всегда служили людям источником вдохновения – недаром картинам неба посвящено так много полотен великих художников, – заставляли людей чаще поднимать глаза к небу и задумываться о вечном.

Рекомендуем прочитать

1. *Морозова Т.И.* Серебристые облака // Земля и Вселенная, 2025. № 4. С. 110–115.