

А. О. АНДРЕЕВ, М. В. ДУКАЛЬСКАЯ, Е. Г. ГОЛОВИНА



ОБЛАКА

происхождение, классификация, распознавание

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. О. АНДРЕЕВ, М. В. ДУКАЛЬСКАЯ, Е. Г. ГОЛОВИНА

ОБЛАКА

происхождение, классификация, распознавание

учебное пособие
под редакцией д-ра геогр. наук А. И. Угрюмова



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2007

УДК 551.576.12

ББК 26.233 **Андреев А. О., Дукальская М. В., Головина Е. Г.** Облака: происхождение, классификация, распознавание. Под ред. д-ра геогр. наук А. И. Угрюмова. Учебное пособие. СПб., изд. РГГМУ, 2007, 228 с.

Рецензенты: кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы РГГМУ (заведующий кафедрой — д-р физ.-мат. наук А. С. Гаврилов), канд. физ.-мат. наук А. Г. Попов (факультет географии и геоэкологии СПбГУ).

ISBN 5-86813-184-3

В учебном пособии представлена международная классификация облаков, принятая Всемирной метеорологической организацией. Богатый иллюстративный материал сопровождается описанием морфологических особенностей облаков, их важнейших физических характеристик и связанных с ними осадков и явлений. Показана связь облачных систем с атмосферными процессами синоптического масштаба.

Может использоваться в качестве вспомогательного учебного пособия при изучении дисциплин, в которых затрагиваются вопросы формирования и динамики облаков, а также связанных с ними метеорологических процессов („Физика атмосферы“, „Синоптическая метеорология“, „Авиационная метеорология“, „Дистанционное зондирование атмосферы“, „Космическая метеорология“ и др.).

Предназначается для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению „Гидрометеорология“, а также для учителей и учащихся старших классов средней школы в целях расширения знаний по естественно-научным предметам и профориентации школьников. Представляет интерес для любителей природы любого возраста.

The manual presents the international cloud classification adopted by the World Meteorological Organization. The lavishly illustrated material is accompanied by description of morphological features of clouds, their major physical properties, and the precipitation and phenomena related to them. The relationship between cloud systems and atmospheric processes is shown.

The book can be used as an auxiliary teaching aid in studying subjects concerned with cloud formation and cloud dynamics, as well as related meteorological processes (“Physical Meteorology”, “Synoptic Meteorology”, “Aeronautical Meteorology”, “Atmospheric Remote Sensing Techniques”, “Space Meteorology” and others).

The manual is designed for undergraduate students of hydrometeorology, as well as school teachers and senior high school students, aiming at increase of knowledge in natural sciences and career guidance for school students. The book is of interest for nature-lovers of any age.

ISBN 5-86813-184-3

© А. О. Андреев, М. В. Дукальская, Е. Г. Головина, 2007

Предисловие

Облака в их непрерывном развитии и многообразии формируют неповторимую эстетику атмосферы, которой мы не устаем любоваться. В то же время облака — источник множества опасных явлений погоды (сильные осадки, гроза, град, шквалы и т. д.). Они относятся к важнейшим погодообразующим факторам, которые необходимо учитывать в самых разных сферах деятельности людей.

Будущий специалист-метеоролог должен уметь распознавать формы облаков, знать, какие физические процессы управляют их развитием, формированием осадков и связанных с облаками опасных явлений погоды.

Формы облаков и последовательность их смены позволяют судить о приближении барических образований и фронтов, являются индикаторами стадии их развития. По формам облаков часто можно сделать заключение о вертикальном профиле темпера-

туры в атмосфере, о степени турбулентности воздушных течений на высотах, о положении струйных течений и характере температурной адвекции. В связи с этим трудно переоценить хорошее знание форм облаков при составлении прогнозов погоды, а знание форм облаков для авиационного синоптика не нуждается в комментариях. Правильное определение форм облаков крайне важно и при активных воздействиях на атмосферные процессы.

Это учебное пособие поможет усвоению всех дисциплин, в которых затрагиваются вопросы формирования и динамики облаков, а также связанных с ними метеорологических процессов („Введение в специальность”, „Физика атмосферы”, „Синоптическая метеорология”, „Авиационная метеорология”, „Методы дистанционного зондирования атмосферы”, „Космическая метеорология” и др.). В нем подробно изложена

международная классификация облаков, принятая Всемирной метеорологической организацией (ВМО). Богатый иллюстративный материал сопровождается описанием морфологических особенностей облаков, их важнейших физических характеристик и связанных с ними осадков и явлений. В дополнение к международной классификации подробно проиллюстрированы оптические явления в облаках и некоторые виды туманов, генетически связанные с низкой облачностью.

Классификация предваряется кратким описанием строения и термодинамики атмосферы, физики образования облаков и осадков, роли синоптических процессов в формировании крупномасштабных облачных систем. Эти сведения позволяют лучше понять принципы, на которых основана классификация.

В отдельной главе представлено описание облачных систем, связанных с крупномасштабными атмосферными процессами, такими как циклоны, антициклоны, теплые и холодные фронты, фронты окклюзии. Эти сведения необходимы для подготовки студентов к восприятию обширного курса „Синоптическая метеорология”, в котором изучаются принципы и методы прогноза пого-

ды — главного продукта деятельности гидрометеорологической службы. Они также будут полезны заинтересованному читателю, уже ознакомившемуся с классификацией облаков.

Учебное пособие заключается систематизированным атласом всех форм, видов и разновидностей облаков, встречающихся в атмосфере.

Настоящая книга, безусловно, привлечет внимание всех тех, кого волнует природа нашей Земли и зачаровывает волшебный мир облаков. Она научит их разбираться в кажущемся хаосе облачного неба, подарит радость узнавания форм и видов облаков, поможет больше узнать об их происхождении и жизненном цикле. Некоторые наиболее пытливые читатели могут по прочтении книги рискнуть составлять и собственные прогнозы погоды, пусть даже всего на несколько часов. Высшей же наградой авторам и научному редактору книги будет новое пополнение коллектива метеорологов нашей страны, если ее молодых читателей всерьез заинтересует увлекательный мир науки об атмосфере.

А. И. Угрюмов

* * *

Приведенные в книге фотографии были сделаны в Санкт-Петербурге, Ленинградской, Новгородской, Псковской, Костромской областях, Краснодарском крае, Кабардино-Балкарии, на Земле Франца-Иосифа, в Финляндии, Франции, Швеции, Эстонии, Швейцарии, Великобритании, США, на островах Антарктического архипелага, а также с борта самолета на маршрутах Москва—Варшава и Стокгольм—Москва.

Авторы благодарят за предоставленные фотографии О. А. Андреева, В. И. Боярского, О. Г. Дагаеву, О. Н. Ионову, В. С. Ипполитова, Т. В. Потапову, А. Г. Саенко и Н. Н. Якимову. Мы очень признательны за ценные советы и замечания, высказанные в процессе написания книги, Т. В. Ушаковой,

В. Д. Петрушенко и, особенно, А. И. Узрюмову, поддержавшему авторов на этапе обсуждения идеи создания книги, а также оказавшему неоценимую помощь во время ее подготовки. Авторы благодарны директору Российского государственного музея Арктики и Антарктики В. И. Боярскому за моральную поддержку, О. В. Лапиной и А. С. Андреевой за высокопрофессиональную работу по редактированию книги, И. Г. Максимовой за помощь в подготовке книги к печати. Самые теплые слова благодарности хотелось бы высказать ректору Российского государственного гидрометеорологического университета Л. Н. Карлину, без моральной и финансовой поддержки которого книга не увидела бы свет.

Глава 1. Краткие сведения о строении атмосферы, образовании облаков и осадков

1.1. Вертикальное строение атмосферы

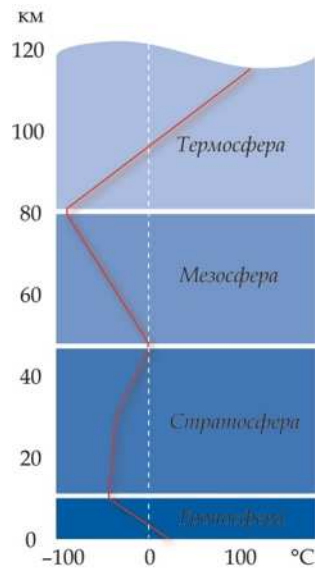


Рис. 1.1. Схема вертикального строения атмосферы.

Земля окружена газовой оболочкой — *атмосферой*. Нижняя граница атмосферы прижимается к поверхности Земли. Верхнюю границу выделить невозможно, поскольку с увеличением высоты воздух все более разрежается, плотность его уменьшается, и атмосфера плавно переходит в межпланетное пространство. Около 50 % массы атмосферы сосредоточено в нижнем 5-километровом слое, около 90 % — в 20-километровом.

В атмосфере наблюдается значительное изменение метеорологических элементов (давления, температуры, влажности и пр.) по вертикали (рис. 1.1). По ряду признаков (распределение температуры по высоте, состав атмосферного воздуха, наличие заряженных частиц и пр.) атмосферу условно разделяют на несколько слоев: тропосферу (в среднем до высоты 11 км), стратосферу (от 11 до 50—55 км), мезосферу (от 50—55 до 90 км), термосферу (от 90 до 450 км) и экзосферу (свыше 450 км).

Нижний сравнительно тонкий слой атмосферы — *тропосфера* — непосредственно прилегает к земной поверхности. Слово „тропосфера” происходит от греческого „тропос” (вращение, перемешивание). Действительно, в тропосфере происходит постоянное перемешивание воздуха вихрями различных масштабов (*турбулентное перемешивание*) как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении, которое оказывает большое влияние на обмен теплом и влагой. Высота верхней границы тропосферы сильно зависит от времени года и широты места: в умеренных широтах она составляет 9—12 км, у полюсов — 8—10 км, у экватора — 16—18 км. На одной и той же широте высота верхней границы тропосферы уменьшается зимой и возрастает летом. Характерной особенностью тропосферы является понижение температуры воздуха с высотой. Между тропосферой и стратосферой расположен переходный слой, называемый *тропопаузой*. Ее вертикальная

протяженность колеблется от нескольких сотен метров до 1—2 км.

Над тропопавзой располагается *стратосфера* („стратос” — спокойствие). Температура воздуха на нижней границе стратосферы составляет от -45 до -75 °C в зависимости от широты и времени года. До высоты 25—35 км температура остается почти постоянной, затем она резко возрастает и на высоте верхней границы стратосферы (около 50 км) составляет около 0 °C. Повышение температуры воздуха с высотой объясняется поглощением солнечной радиации озоном, содержание которого в стратосфере значительно больше, чем в тропосфере. Водяного пара в стратосфере мало, поэтому облака здесь не образуются. Исключение составляют лишь так называемые *перламутровые* облака на высоте 20—25 км. Наблюдаются они крайне редко и только в высоких широтах.

Переходным слоем между стратосферой и мезосферой является *стратопавза*, нижней границей которой считается высота, на которой прекращается повышение температуры. В *мезосфере* („мезос” — средний), расположенной в слое от 50—55 до 90 км, температура воздуха с высотой понижается до -90 °C. На высоте 80—85 км наблюдаются очень тонкие облака, называемые *серебристыми* (рис. 1.2). В Северной полушарии (преимущественно между 50 и 75° с. ш.) их



ФОТО А. АНДРЕЕВА

можно увидеть летней ночью в северной части горизонта.

Границей между мезосферой и термосферой является *мезопавза*, расположенная на высоте около 90 км. Выше мезопавзы, в *термосфере* („термос” — теплый), начинается повышение температуры с высотой, связанное с поглощением ультрафиолетовой радиации атомным кислородом и азотом, а также со значительной скоростью молекул атмосферных газов. Внешний слой атмосферы — *экзосфера* — постепенно переходит в космическое пространство.

Рис. 1.2. Серебристые облака летней ночью над Санкт-Петербургом.

1.2. Термодинамические процессы в тропосфере

С практической точки зрения наибольший интерес представляет тропосфера — слой, где формируется *погода*, образуются облака и выпадают осадки, т. е. происходят процессы, которым посвящена эта книга.

Основным источником тепла для воздуха в тропосфере служит земная поверхность, которая в результате поглощения солнечной радиации нагревается и, как всякое нагретое тело, излучает лучистую энергию в зависимости от своей температуры. Земная поверхность поставляет тепловую энергию в атмосферу турбулентными потоками (явная теплопередача), а также при испарении влаги с поверхности и дальнейшей ее конденсации в тропосфере (скрытый теплообмен). Чем дальше воздух от поверхности Земли, тем меньше он получает тепла и тем ниже его температура, поэтому в тропосфере температура воздуха понижается с высотой (в среднем на $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м). Однако это утверждение справедливо лишь для всей толщи тропосферы. На са-

мом деле изменение температуры воздуха по вертикали происходит по-разному и зависит от высоты над земной поверхностью, широты места и времени года. Например, в нижней части тропосферы понижение температуры с высотой происходит медленнее, чем в верхней.

Распределение температуры воздуха с высотой называется *термической стратификацией*. Нередко в тропосфере встречаются слои воздуха, в которых температура с высотой не понижается, а повышается. Такое изменение температуры называется *инверсией*, а слои — *инверсионными* (рис. 1.3). Различают приземные инверсии, начинающиеся от поверхности Земли, и инверсии свободной атмосферы. Как будет показано ниже, инверсионные слои играют ключевую роль в образовании и развитии некоторых видов облаков.

Одно из важных свойств атмосферного воздуха, во многом определяющее характер изменения его температуры с высо-

той, заключается в том, что при вертикальных движениях некоторые процессы в нем могут происходить *адиабатически*, т. е. без обмена теплом с окружающей средой (с земной поверхностью, окружающим воздухом и т. п.). Для адиабатических процессов характерно охлаждение восходящего воздуха и нагревание нисходящего. Воздух обладает способностью сжиматься и расширяться при перемещении с одного уровня на другой. При движении вверх, в область более низкого атмосферного давления, затрачивается энергия на работу расширения, что приводит к понижению температуры. При движении вниз, в область более высокого давления, выделяется энергия за счет работы сжатия и происходит повышение температуры. Изменение температуры сухого воздуха при его вертикальном перемещении составляет примерно 1°C на каждые 100 м.

Вертикальные перемещения отдельных масс воздуха называются *конвекцией*. В зависимости от того, способствует или препятствует атмосфера развитию конвекции, различают устойчивое, безразличное и неустойчивое состояние атмосферы. Если некоторый объем воздуха при адиабатическом подъеме оказывается холоднее (а зна-

чит, и плотнее) окружающего воздуха, то он будет стремиться опуститься на прежний уровень. Такое состояние слоя, препятствующее вынужденному подъему отдельного объема воздуха, называется *устойчивым*. Если объем воздуха при адиабатическом подъеме приобретет такую же температуру, что и окружающий воздух на этом уровне, то восходящее движение воздуха прекратится и он останется на этом уровне. Это состояние слоя называется *безразличным*. Если объем воздуха, адиабатически поднятый на некоторую высоту, окажется



фото Н. ЯКИМОВОЙ

Рис.1.3. Контур облачного поля, образовавшегося под слоем инверсии, повторяет очертания береговой линии.

теплее окружающего воздуха, то он будет продолжать подъем. Такое состояние слоя, способствующее подъему отдельного объема воздуха, называется *неустойчивым* состоянием.

Восходящее движение воздуха в неустойчивой атмосфере продолжается до тех пор, пока этот воздух остается теплее окружающей среды. Уровень, на котором температура внутри поднимающейся массы воздуха становится равной температуре окружающего воздуха, называется *уровнем выравнивания температур*, или *уровнем конвекции*. Высота уровня конвекции зависит от начального перегрева отдельного объема воздуха относительно окружающей среды и вертикального градиента температуры. Выше этого уровня восходящее движение продолжается по инерции до тех пор, пока кинетическая энергия, приобретенная поднимающимся объемом воздуха в нижнем неустойчивом слое, не станет равна нулю. Таким образом, высота подъема воздуха может значительно превосходить высоту уровня конвекции.

На состояние атмосферы и развитие атмосферных процессов большое влияние оказывает водяной пар. Воздух, содержащий водяной пар, называется влажным. Со-

держание водяного пара во влажном воздухе у поверхности Земли составляет в среднем от 0,2 % в полярных широтах до 2,5 % у экватора.

Поступление водяного пара в атмосферу происходит постоянно путем испарения с водных поверхностей, суши, растительности и т. п.; при этом его количество сильно зависит от характера подстилающей поверхности. От земной поверхности пар переносится в более высокие слои, проникая даже в стратосферу, однако основная масса атмосферного водяного пара сосредоточена в тропосфере, и с увеличением высоты его содержание быстро уменьшается. Состояние воздуха, при котором он содержит предельно возможное при данной температуре количество водяного пара, называется *насыщением*. Если воздух достигает состояния насыщения и продолжает охлаждаться, то в нем происходит *конденсация* водяного пара (переход водяного пара в жидкое состояние) или его *сублимация* (переход в твердое состояние, минуя жидкое). Температура, при которой достигается состояние насыщения (в случае понижения температуры при неизменном атмосферном давлении), называется *температурой точки росы*.

При адиабатическом подъеме влажного, но ненасыщенного воздуха происходит его охлаждение, а следовательно, и приближение к состоянию насыщения. Высота, на которой воздух достигает состояния насыщения, называется *уровнем конденсации*. Выше этого уровня скорость охлаждения поднимающегося насыщенного воздуха уменьшается за счет выделения теплоты конденсации.

Состояние насыщения является важным, но не единственным условием для начала конденсации водяного пара. Необходимо, чтобы в воздухе присутствовали мельчайшие *ядра конденсации* (взвешенные в воздухе частицы морской соли, пыли, продуктов сгорания и т. п.), на которых и образуются зародышевые водяные капельки. Образовавшиеся капли сталкиваются между собой, что приводит к их слиянию (*коагуляции*) и укрупнению. Понижение температуры воздуха ниже 0 °C не вызывает немедленного замерзания капель, они остаются в переохлажденном состоянии при достаточно низких температурах. Высота, на которой происходит замерзание капель, называется *уровнем замерзания*. Замерзшие зародышевые капли становятся *ядрами кристаллизации*, на которых путем

сублимации водяного пара образуются ледяные кристаллы.

В результате конденсации и сублимации водяного пара в атмосфере возникают *облака* — видимые скопления взвешенных в воздухе капель и кристаллов, расположенные на некоторой высоте над поверхностью Земли. Все облака, кроме упомянутых выше стратосферных и мезосферных, образуются в тропосфере. Высота облаков и их строение зависят от положения уровня конденсации, уровня нулевой изотермы, уровня замерзания и уровня конвекции. Уровень конденсации практически является нижней границей облака. До уровня нулевой изотермы облако состоит из водяных капель, выше него и до уровня замерзания — из переохлажденных капель. Выше уровня замерзания появляются ледяные кристаллы, однако резкой границы между областями с жидкими и твердыми частицами воды в облаке не существует. Облака могут быть водяными (капельными), смешанными и ледяными (кристаллическими). *Водяные* облака состоят только из капель воды, *смешанные* — из смеси переохлажденных капель и ледяных кристаллов, *ледяные* — из ледяных кристаллов. Размеры капель и кристаллов в облаках колеблются в широких пределах.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 1.4. Вид неба с облаками всех ярусов: в верхней части — тонкие перисто-кучевые облака, в середине — высококучевые, ближе к поверхности Земли — слоисто-кучевые, над горным хребтом — гряда кучевых облаков.

Внешний вид облаков очень разнообразен и определяется характером процессов, приводящих к их образованию. Для систематизации, описания и распознавания облаков по их внешним признакам ВМО принята международная морфологическая классификация, согласно которой все облака делятся на 10 основных форм. Подробно классификация ВМО будет рассмотрена далее.

Каждая форма облаков в зависимости от широты места наблюдается, как правило, в определенном интервале высот. По этому признаку тропосферу делят на три слоя, или яруса, — верхний, средний и нижний (рис. 1.4, 1.5).

Верхний ярус облаков расположен в полярных широтах на высотах 3—8 км, в умеренных — 5—13 км, в тропических — 6—18 км. К облакам верхнего яруса относятся перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые облака (см. рис. 1.5).

Средний ярус облаков расположен в полярных широтах на высотах 2—4 км, в умеренных — 2—7 км, в тропических — 2—8 км. К облакам среднего яруса относятся высококучевые, высокослоистые и слоисто-дождевые облака (см. рис. 1.5).

Нижний ярус облаков на всех широтах располагается от земной поверхности до высоты 2 км. К облакам нижнего яруса относятся слоистые и слоисто-кучевые облака (см. рис. 1.5).

Кучевые и кучево-дождевые облака относятся к облакам *вертикального развития*. Их основания обычно располагаются в нижнем ярусе, а вершины простираются в средний и даже в верхний ярус (см. рис. 1.5).



Рис. 1.5. Распределение форм облаков по ярусам согласно классификации ВМО.

1.3. Синоптические процессы в тропосфере

В тропосфере можно выделить обширные объемы воздуха, обладающие относительно однородными физическими свойствами. Они называются *воздушными массами*. Горизонтальные размеры воздушных масс составляют тысячи километров, вертикальные — несколько километров. Воздушные массы делятся на *холодные* и *теплые*. Приход холодной массы вызывает похолодание в данном районе, приход теплой — потепление. По характеру термической стратификации воздушные массы делятся на *устойчивые* и *неустойчивые*. Устойчивые воздушные массы препятствуют развитию конвективных движений, а неустойчивые, напротив, способствуют им.

Свойства воздушной массы определяются характером подстилающей поверхности, над которой эта масса формируется. Так, воздушная масса, сформировавшаяся над Арктикой, будет отличаться низкими температурой и влажностью, а воздушная масса, сформировавшаяся в тропических райо-

нах, — высокими температурой и влажностью. Воздушные массы в тропосфере постоянно перемещаются с одной подстилающей поверхности на другую. В процессе перемещения они трансформируются: изменяются их температура, влажность и другие метеорологические характеристики. При этом воздушные массы остаются однородными.

Между воздушными массами с различными свойствами существуют переходные зоны, которые характеризуются резким изменением погодных условий. Их называют *фронтальными зонами* или просто *фронтами*. Температура, давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра в этих зонах изменяются скачкообразно. Длина фронтальной зоны составляет тысячи километров, ширина — десятки километров, толщина — сотни метров. В вертикальной плоскости фронтальная зона представляет собой наклонную поверхность, пересечение которой с земной поверхностью образует линию фронта.

Фронты разделяют на *холодные*, *теплые* и *окклюзии*. Холодный фронт смещается вместе с холодной воздушной массой, которая подтекает под отступающий теплый воздух, вытесняя его вверх. Теплый фронт смещается в сторону холодной воздушной массы, теплый воздух постепенно натекает на отступающий холодный воздух. Фронты окклюзии образуются в результате слияния теплых и холодных фронтов и могут быть как теплыми, так и холодными.

В верхней тропосфере наблюдаются связанные с фронтами сильные воздушные течения со скоростью ветра 30 м/с и более (*струйные течения*). Длина струйного течения составляет тысячи километров, ширина — сотни километров, толщина — несколько километров. В умеренных широтах Северного полушария струйные течения чаще всего направлены с запада на восток.

Воздушные массы и фронты постоянно перемещаются, находясь в системе воздушных течений тропосферы. Эта система формируется гигантскими вихрями — *циклонами* и *антициклонами* (рис. 1.6). В Северном полушарии движение воздуха в циклонах происходит против часовой стрелки, в анти-

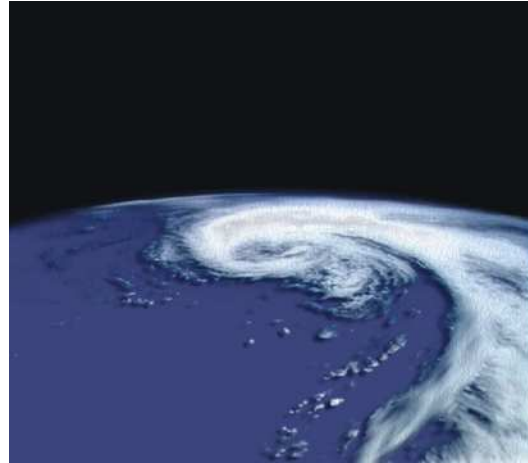


Рис. 1.6. На снимке, сделанном со спутника, хорошо различимы граница между двумя воздушными массами и гигантский циклонический вихрь.

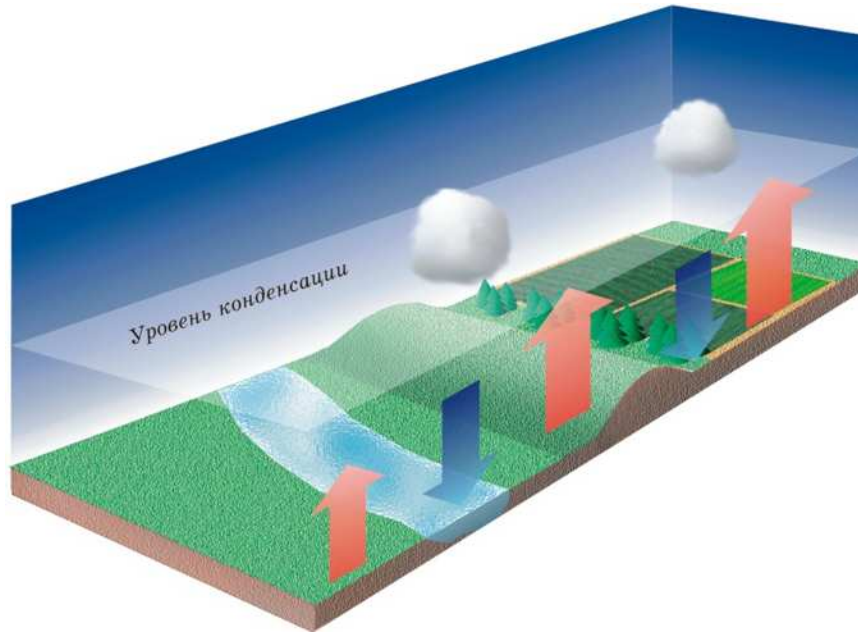
циклонах — по часовой стрелке. Атмосферное давление в циклоне распределяется так, что в центре вихря оно минимально; в антициклоне, наоборот, давление в центре максимально. Фронты всегда связаны с циклонами, где происходит конвергенция воздушных масс и усиление контрастов метеоэлементов. В антициклонах фронты размываются.

С перемещением, трансформацией и взаимодействием воздушных масс и фронтов связаны процессы образования облаков и туманов и выпадение осадков.

1.4. Образование облаков

Рис. 1.7. Схема возникновения термической конвекции.

Как уже указывалось выше, образование облаков всегда связано с процессом адиабатического охлаждения поднимающегося воз-



духа. Условия для такого охлаждения создаются в результате развития вертикальных движений различного масштаба: макромасштабных упорядоченных движений (циклоны, фронты), мезомасштабных конвективных движений (местная циркуляция), турбулентных и волновых движений (приземный слой атмосферы, инверсии свободной атмосферы).

В 1934 г. Бергерон предложил разделить все облака на три класса в зависимости от условий их образования: кучевообразные, волнистообразные и слоистообразные. Такая *генетическая* классификация облаков, соответствующая видам вертикальных движений, существует и в настоящее время. Причиной образования кучевообразных облаков служит конвекция, волнистообразных — волновые движения и турбулентное перемешивание в тропосфере, слоистообразных — крупномасштабное восходящее скольжение теплого воздуха по клину холодного. Образовавшиеся внутри однород-

ной воздушной массы облака называют *внутримассовыми*, развивающиеся во фронтальных зонах — *фронтальными*.

Конвекция

Термическая и динамическая конвекция (вертикальное движение отдельных масс воздуха при относительно спокойном состоянии окружающего воздуха) является основной причиной, приводящей к образованию *конвективных* (*кучевообразных*) облаков; наиболее интенсивно конвекция развивается в неустойчивой атмосфере. К конвективным (кучевообразным) облакам относятся кучевые и кучево-дождевые облака. Их форма и размеры зависят от интенсивности конвекции и характера стратификации атмосферы.

Термическая (свободная) конвекция обусловлена неравномерностью прогрева земной поверхности и воздуха над ней (рис. 1.7). Начало конвективного движения воздушной частицы зависит от разности температур воздушной массы и окружающего ее воздуха. Дальнейшее развитие конвекции определяется вертикальным изменением температуры окружающего частицу воздуха, т. е. стратификацией атмосферы.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 1.8. Термик, образовавшийся вследствие термической конвекции.

Нагрев отдельных участков поверхности Земли зависит от их радиационных и теплофизических свойств, а также от ориентации по отношению к солнечному излучению, поэтому над различными поверхностями появляются массы воздуха с разной температурой и соответственно разной плот-

ностью. Начальным толчком для вертикальных движений воздуха может стать турбулентность или динамическое взаимодействие потока с подстилающей поверхностью. Восходящие движения могут возникать одновременно на площади в сотни и тысячи квадратных километров. Теплый воздух, попадая в более холодную воздушную массу, начинает подниматься вверх в виде пузырей с верхней поверхностью в форме сферической башни или конвективных струй. Пузыри и струи называют *элементами конвекции* или *термиками* (рис. 1.8). Их диаметр составляет примерно 60—70 м. Пузыри чаще

образуются при сильном ветре над участками подстилающей поверхности с горизонтальной неоднородностью радиационных свойств, струи возникают в сухом воздухе при слабом ветре над поверхностями, длительно сохраняющими тепло.

Начальная скорость подъема термик составляет от нескольких сантиметров в секунду до 1—2 м/с. По мере подъема термик растет, при этом уменьшается разность температур между ним и окружающим воздухом. Если термик поднимается до уровня конденсации, он дает начало развитию конвективного облака. Выделение скрытой теплоты конденсации увеличивает перегрев термика относительно окружающего воздуха, а значит, и подъемную силу движущихся масс. Поднимающийся термик вовлекает в свое движение окружающий воздух, обычно более холодный и сухой. Перемешивание во внешних частях облака сопровождается охлаждением. Это уменьшает подъемную силу и заставляет перемешанный воздух опускаться, поэтому рядом с мощными восходящими потоками всегда существуют многочисленные более слабые нисходящие потоки. Облака растут вверх до тех пор, пока поднимающиеся пузыри не утрачивают своей подъемной силы.



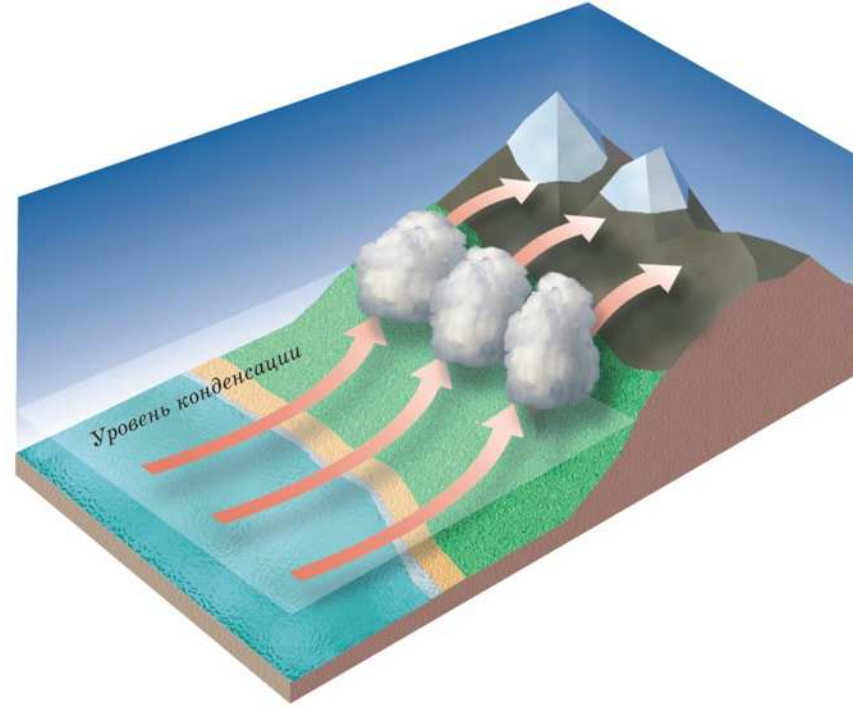
Рис. 1.9. Развитое конвективное облако — кучевое мощное. Клубящаяся вершина свидетельствует о продолжающемся росте облака.

ФОТО А. АНДРЕЕВА

Если облако содержит всего один термик, то оно довольно быстро (в течение нескольких минут) разрушается в результате перемешивания с более сухим окружающим воздухом. Чем больше термиков содержит облако, тем более оно развито в горизонтальном и вертикальном направлении. Растущее конвективное облако постоянно подпитывается новыми термиками. Развитые конвективные облака обычно состоят из нескольких термиков (рис. 1.9).

Если неустойчивость в атмосфере распространяется лишь на небольшой слой над уровнем конденсации, образуются кучевые плоские или кучевые средние облака. Слои с инверсией температуры (*задерживающие слои*) препятствуют дальнейшему развитию этих облаков. В неустойчивой атмосфере при отсутствии задерживающих слоев развитие конвекции приводит к образованию кучевых мощных, а затем кучево-дождевых облаков. Скорость восходящих движений в небольших облаках и в нижней части развитого кучевого облака составляет 1—5 м/с, а в центральной части мощного кучево-дождевого облака она может превышать 20 м/с.

Динамическая (вынужденная) конвекция обусловлена вынужденным подъемом теплого воздуха при обтекании препятствия.

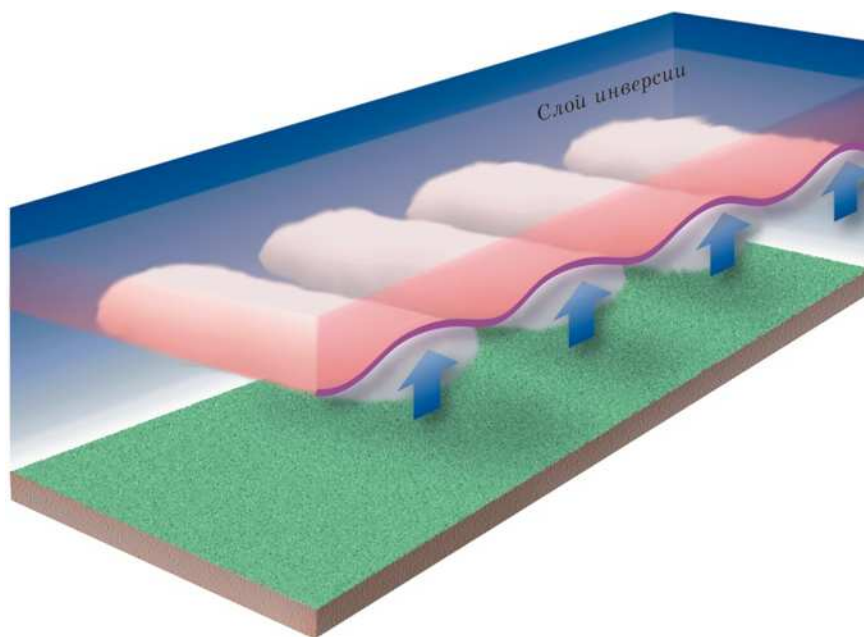


Таким препятствием может быть горный хребет, с наветренной стороны которого образуются кучевообразные облака, имеющие узкое основание и круто растущие вверх (рис. 1.10). Роль препятствия, вызывающего вынужденный подъем теплого возду-

Рис. 1.10. Схема развития динамической конвекции при перетекании воздушного потока через горный хребет.

ха, может играть и фронтальная поверхность с большим углом наклона. Иногда конвекция, возникшая как вынужденная, становится с некоторого уровня свободной. Например, в горных районах подъем воздуха до уровня конденсации вызван динамической конвекцией, а выше — выделением теплоты фазовых переходов, т. е. термической конвекцией.

Рис. 1.11. Схема образования волнистообразной облачности под слоем инверсии.



Волновые движения

В атмосфере на разных высотах часто возникают волновые движения, имеющие различные амплитуду и длину волн (рис. 1.11). Такие движения в устойчивых воздушных массах при наличии инверсионных слоев служат основной причиной образования *волнистообразных* облаков.

Нижняя граница инверсионного слоя представляет собой границу раздела между нижележащим холодным и вышележащим теплым воздухом. Если теплый и холодный воздух движутся с разными скоростями, то на границе их раздела возникают волновые движения (гравитационные волны Кельвина—Гельмгольца). Амплитуда и длина этих волн зависят от разности плотности воздуха и разности скорости ветра в обоих слоях. При увеличении разности температур волны становятся более устойчивыми, увеличение разности скоростей ветра ведет к их неустойчивости.

В гребнях волн воздух поднимается и адиабатически охлаждается, что приводит к конденсации водяного пара. В ложбинах волн воздух опускается, адиабатически нагревается и удаляется от состояния насыщения. Таким образом в гребнях образуют-

ся облака, в ложбинах — просветы. В результате действия этих процессов в верхнем ярусе образуются перисто-кучевые облака, в среднем — высококучевые (рис. 1.12), в нижнем — слоисто-кучевые. Если облака под слоем инверсии уже существовали, то они уплотняются в гребнях волн и рассеиваются в ложбинах. Подобные процессы происходят и на фронтальных поверхностях с малым углом наклона. Если нижняя граница инверсионного слоя разделяет два потока воздуха, движущиеся под некоторым углом друг к другу, то возникают системы волн, имеющих разные направления. В результате взаимодействия этих систем правильность волн нарушается, а облачные валы разбиваются на отдельные пластины, расположенные рядами.

В большинстве случаев гравитационные волны неустойчивы, они быстро разрушаются и превращаются в ряд вихрей. При резком понижении температуры с высотой (более $0,82\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$) подынверсионный слой разбивается на отдельные ячейки, форма которых близка к правильному квадрату или шестиугольнику, и в этих ячейках возникает форма движения, называемая *ячейковой циркуляцией*. Если в центре такой ячейки развиваются конвективные движе-



ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 1.12. Высококучевые волнистообразные облака.

Рис. 1.13. Высококучевые хлопьевидные облака, образовавшиеся вследствие ячейковой циркуляции (закрытые ячейки).

Рис. 1.14. Открытые ячейки высококучевых хлопьевидных облаков.



ния, направленные вверх, а на периферии — направленные вниз (*закрытая ячейка*), то в центре ячейки возникают облака, окруженные просветами (рис. 1.13). При конвекции с нисходящим потоком в центре ячейки (*открытая ячейка*) происходит образование правильно расположенных круглых просветов в слое облаков, который по структуре становится похожим на кружево (рис. 1.14). Если в облачном слое или на его границах скорость ветра изменяется с высотой, наблюдается вытягивание ячеек и превращение их в облачные гряды.

Кроме свободных, в атмосфере могут возникать и вынужденные волновые движения, также приводящие к образованию облаков. Такие волны образуются при перетекании воздуха через препятствия (например, через горные хребты). Амплитуда и длина этих волн зависят от размеров препятствия. В гребне вынужденных волн образуются перисто-кучевые, высококучевые или слоисто-кучевые чечевицеобразные облака.

Турбулентное перемешивание

В нижнем слое тропосферы значительную роль в образовании волнистообразных облаков играет турбулентное перемешивание. В устойчивой атмосфере конвективные движения тормозятся, вертикальное перемещение воздуха осуществляется лишь за счет турбулентного перемешивания. Поднимающийся от земной поверхности ненасыщенный воздух адиабатически охлаждается, что приводит к понижению температуры вышележащего слоя, а опускающийся — нагревается, в результате чего температура нижележащего слоя понижается. При этом значительно увеличивается вертикальный градиент температуры, а выше слоя интенсивного

турбулентного обмена, где стратификация остается неизменной, образуется слой с инверсией температуры.

Турбулентное перемешивание приводит к перераспределению содержания водяного пара по высоте. Пар переносится от земной поверхности вверх и задерживается в подынверсионном слое, здесь же накапливаются и ядра конденсации. Эти факторы благоприятствуют конденсации водяного пара под инверсией и образованию облаков, имеющих вид тонкого слоя значительной протяженности. В результате турбулентного перемешивания образуются облака нижнего яруса — слоисто-кучевые и слоистые. Слоисто-кучевые облака образуются преимущественно в ветреную погоду, слоистые — в маловетреных условиях. Турбулентное перемешивание обычно не распространяется до больших высот, поэтому основание образовавшихся облаков располагается достаточно низко, а верхняя их граница практически совпадает с нижней границей инверсионного слоя.

Восходящее скольжение теплого воздуха

Как уже указывалось выше, в зоне атмосферного фронта холодная воздушная масса

имеет вид клина, расположенного под теплой воздушной массой. Масса теплого воздуха, перемещаясь в горизонтальном направлении, совершает вынужденный медленный подъем, при котором адиабатически охлаждается. Это приводит к конденсации водяного пара и образованию *облаков восходящего скольжения (слоистообразных)*, к которым относятся перисто-слоистые, высокослоистые и слоисто-дождевые облака (рис. 1.15).

Рис. 1.15. Схема образования облаков восходящего скольжения (слоистообразных).

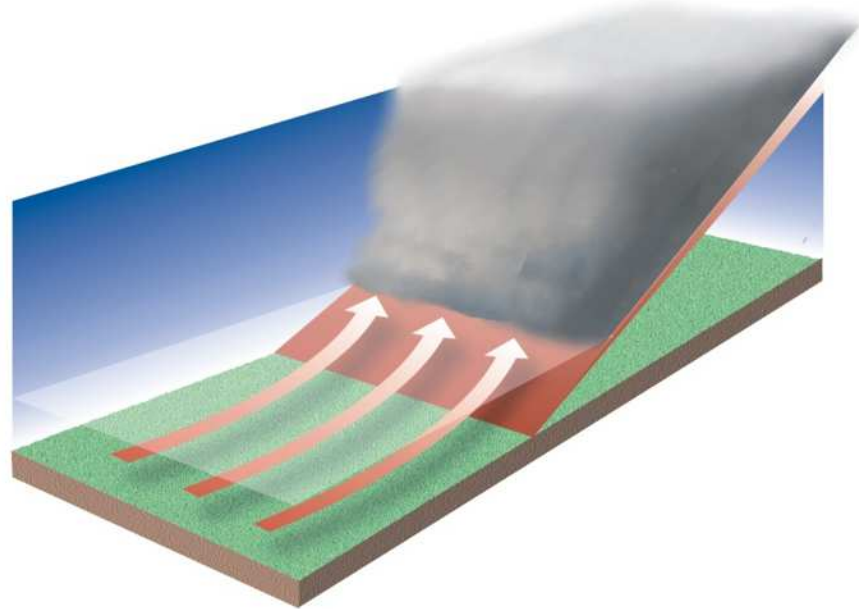


Рис. 1.16. Под влиянием сильного ветра на оси струйного течения перисто-кучевые облака формируются в виде длинных полос, вытянутых по направлению течения.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 1.17. Перистые хребто-видные облака на оси струйного течения.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Процесс восходящего скольжения во фронтальных зонах охватывает обширные пространства, что приводит к образованию фронтальных облачных систем, состоящих из облаков всех ярусов и имеющих значительные вертикальные и горизонтальные размеры. Наиболее мощные облачные системы развиваются на теплом фронте. При движении атмосферного фронта его облачная система передвигается вместе с ним. Подробно фронтальные облачные системы будут рассмотрены в главе 3.

Образование той или иной формы облаков может происходить в результате действия как одного процесса, так и совокупности нескольких. Кроме того, образование отдельных облаков может быть обусловлено действием других механизмов, кроме описанных выше. Например, в зоне струйного течения образование перистых и перисто-кучевых облаков происходит при стремительном выносе теплого воздуха в более холодные слои и его охлаждении, которое приводит к конденсации или сублимации водяного пара. Образовавшиеся облака вытягиваются вдоль оси струйного течения в виде полосы или нескольких узких параллельных полос, имеющих хорошо очерченные края (рис. 1.16, 1.17). Характерной чертой этих облаков является их быстрое перемещение по небу.

1.5. Образование осадков

При определенных условиях из облаков разных форм выпадают осадки. Характеристиками осадков являются их количество и интенсивность. *Количество* осадков измеряется толщиной слоя воды, который образуется после выпадения осадков на горизонтальную поверхность, *интенсивность* — количеством осадков, выпавшим в единицу времени. В зависимости от интенсивности и характера выпадения осадки делятся на ливневые, обложные и морозящие. *Ливневые* осадки характерны для конвективных облаков (главным образом для кучево-дождевых), они характеризуются значительной интенсивностью (от 14 до 50 мм/12 ч и даже более), отличаются внезапностью начала и окончания, могут быть кратковременными и перемежающимися. *Обложные* осадки отличаются небольшой интенсивностью (4—13 мм/12 ч) и большой продолжительностью и охватывают одновременно значительные площади. Они выпадают обычно из фронтальных слоисто-дождевых и высоко-

слоистых облаков. *Морозящие* осадки выпадают из высокослоистых, слоистых и изредка из слоисто-кучевых облаков, состоят из самых мелких капель, как бы оседающих из облака, и отличаются очень малой интенсивностью (менее 4 мм/12 ч).

Осадки бывают твердыми, жидкими и смешанными. К *твердым* осадкам относятся: *снег* (ледяные кристаллы сложных форм — снежинки, вид которых зависит от условий их образования), *снежная крупа* (непрозрачные круглые ядра белого цвета диаметром 2 мм и более), *снежные зерна* (мелкие крупинки диаметром менее 1 мм), *ледяная крупа* (прозрачные ледяные крупинки диаметром до 3 мм, в центре которых находится непрозрачное ядро), *ледяной дождь* (прозрачные ледяные шарики диаметром 1—3 мм, внутри которых иногда находится вода), *ледяные иголки* (мелкие ледяные кристаллы, выпадающие при очень низких температурах воздуха), *град* (кусочки льда размером от горошины до 5—8 см в диаметре, состоящие из про-

Рис. 1.18. На снимке, сделанном с борта самолета с высоты около 10 км, видны интенсивные осадки, выпадающие из высоко-кучевых облаков.



ФОТО Н. ЯКИМОВОЙ

зрачных и мутных слоев). К *жидким* осадкам относятся: *дождь* (капельки воды диаметром от 0,5 до 8 мм), *морось* (очень мелкие капли воды диаметром 0,05—0,5 мкм, находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе). *Смешанные* осадки имеют в своем составе как капли воды, так и кристаллы льда; к ним относится *мокрый снег* (тающий снег или снег с дождем).

Для образования осадков необходимо, чтобы хотя бы часть облачных элементов укрупнилась и стала настолько тяжелой, что не смогла бы удерживаться в воздухе во взвешенном состоянии. Если скорость паде-

ния облачных элементов превышает скорость восходящих движений, капли и кристаллы выпадают из облака (рис. 1.18). Однако даже достаточно крупные капли и кристаллы при движении к земной поверхности могут полностью или частично испариться и не достигнуть ее. В этом случае фиксируют не осадки, а видимые в атмосфере полосы их падения (*virga*).

Рост облачных капель начинается за счет конденсации на них водяного пара. Этот процесс сначала происходит очень быстро (за несколько секунд радиус капель возрастает в 2—3 раза), затем по мере увеличения размеров капель скорость их роста резко уменьшается, и для образования капель радиусом более 0,1 мм требуются десятки часов. Образовавшиеся в результате конденсации водяного пара мелкие капли имеют почти одинаковые размеры. Из всех форм облаков наиболее длительно (сутки и более) могут существовать слоистые и слоисто-кучевые облака, поэтому в них за счет конденсационного роста иногда образуются капли мороси, которые выпадают из облака, преодолевая слабые восходящие потоки.

В ледяных облаках облачные элементы укрупняются за счет сублимации водяного пара, причем этот процесс происходит го-

раздо быстрее, чем конденсация. Поэтому из ледяных перистых и перисто-кучевых облаков довольно часто выпадают кристаллы в виде полос падения, а из зимних высокослоистых — слабый или умеренный снег.

Процесс укрупнения облачных элементов значительно быстрее происходит за счет других механизмов, в частности при их взаимном слиянии (коагуляции). Мельчайшие капельки в облаке находятся в постоянном движении, вызванном турбулентным перемешиванием, сталкиваются между собой и сливаются. Коагуляции способствует и тот факт, что капли могут нести на себе разноименные электрические заря-

ды. Под действием силы тяжести капли разных размеров падают с разной скоростью, более крупные догоняют более мелкие и сливаются с ними. Такая коагуляция называется *гравитационной*. В развитых по вертикали облаках с сильными восходящими движениями капли поднимаются на большую высоту и при последующем падении проходят сквозь всю толщу облака, что приводит к их значительному укрупнению, причем скорость коагуляции возрастает с увеличением размеров капель. Поэтому в кучевых облаках мощностью 1 км и более капли дождя могут образоваться только за счет гравитационной коагуляции.



ФОТО А. САЕНКО

Рис. 1.19. Осадки, выпадающие из кучево-дождевого облака, хорошо различимы на фоне заходящего солнца.

Однако для образования обильных осадков механизмов конденсации и коагуляции недостаточно. Для этого необходимо, чтобы облака были смешанными, т. е. чтобы в них наряду с переохлажденными каплями воды были и ледяные кристаллы. При отрицательных температурах воздуха абсолютная влажность воздуха над ледяными кристаллами всегда больше, чем над каплями воды. Если капли и кристаллы находятся рядом, то для капель воздух будет ненасыщенным, а для кристаллов — пересыщенным, капли будут испаряться, а кристаллы — расти путем сублимации. Этот про-

цесс обычно происходит в верхней части облака, откуда выросшие кристаллы начинают выпадать, еще более укрупняясь при движении вниз за счет дальнейшей сублимации водяного пара и столкновения с переохлажденными каплями. Часть капель примерзает к падающим кристаллам, часть — замерзает, увеличивая при этом число частиц, на которых происходит кристаллизация. Таким образом, в нижней части облака появляются крупные кристаллы. В кучево-дождевых облаках, внутри которых существуют области с очень сильными восходящими и нисходящими потоками, образовавшиеся кристаллы льда многократно увлекаются этими потоками вверх и вниз, при этом, попадая в области с положительными температурами, они подтаивают, а попадая в области с отрицательными температурами, — замерзают. Так образуются крупные ледяные частицы неправильной формы — град. Если температура воздуха в нижней части облака выше 0°C , кристаллы тают, превращаясь в капли, которые выпадают из облака в виде дождя (рис. 1.19). Дождь выпадает и в случае, когда кристаллы тают под облаком по пути к земной поверхности. Если температура в облаке и под ним отрицательная, осадки выпадают в виде снега или крупы (рис. 1.20).



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 1.20. Выпадение мокрого снега из слоисто-дождевых облаков при прохождении теплого фронта над Санкт-Петербургом.

Глава 2. Международная классификация облаков

2.1. История создания классификации облаков

Первая вошедшая в науку классификация облаков была создана в 1802 г. знаменитым французским ученым-естествоиспытателем Ж. Б. Ламарком, который выделил пять основных форм облаков и подробно описал их характеристики.

В 1803 г. английский химик-фармацевт Л. Говард предложил независимо от Ламарка другую классификацию, которая имела больший успех (рис. 2.1). Он выделил три основные формы облаков — перистые, кучевые и слоистые, а также четвертую, сложную, которую назвал дождевыми облаками, или тучами. По мнению Говарда, все остальные облака представляли собой переходную форму между тремя основными. Говард впервые ввел для обозначения облаков латинские названия, такие как *cirrus*, *cumulus*, *stratus*, *nimbus*, которые используются и в настоящее время. В России классификация Говарда применялась в обсерваториях при наблюдениях

за облаками с 1830-х годов, а в 1869 г. на ее основе Г. И. Вильд составил „Инструкцию для метеорологических станций”.

В течение XIX века ученые разных стран дорабатывали классификацию Говарда, при этом они добавляли в нее новые формы облаков, выделяли их виды и разновидности. Так, в 1830 г. немецкий метеоролог Кемц предложил добавить в классификацию Говарда такую форму облаков, как слоисто-кучевые (*Stratocumulus*), в 1855 г. французский метеоролог Рену описал высококучевые (*Alto cumulus*) и высокослоистые (*Altostratus*) облака, а в 1880 г. Вейлбах выделил как отдельную форму кучево-дождевые облака (*Cumulonimbus*). В результате доработок классификации Говарда в разных странах появилось множество отличных друг от друга классификаций, большая часть которых не получила широкого распространения.

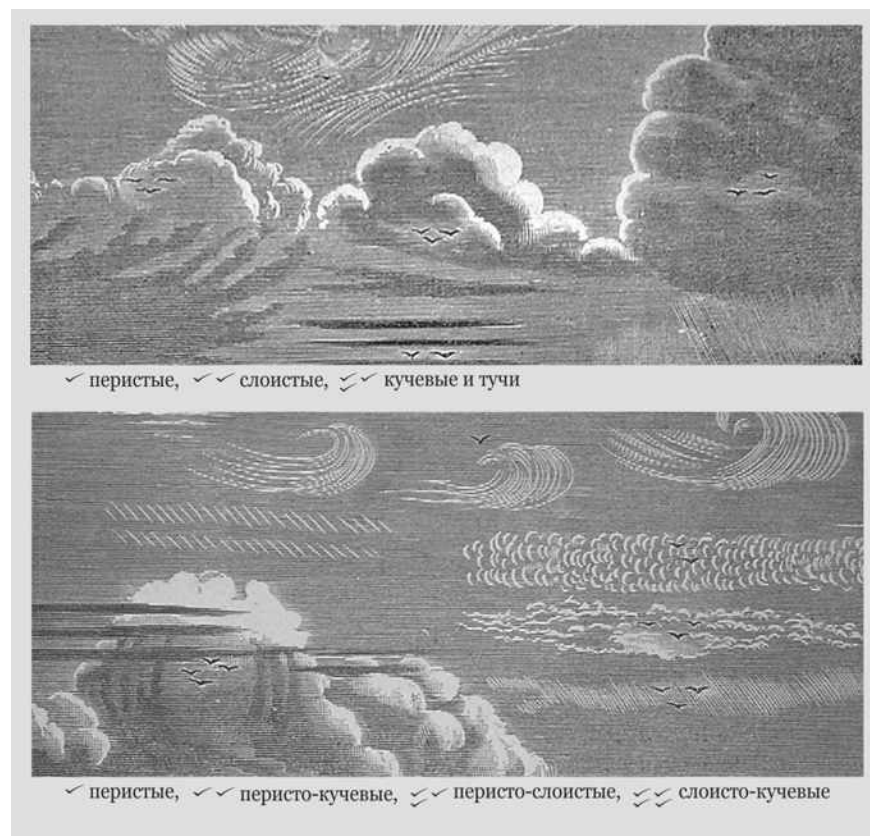


Рис. 2.1. Различные формы облаков по классификации Говарда (Д. А. Лачинов „Основы метеорологии и климатологии”, Санкт-Петербург, 1895 г.).

В 1887 г. шведский ученый Х. Гильдебрандсон и английский ученый Р. Эберкромби предложили Международной метеорологической организации свой проект классификации облаков. При подготовке этого проекта Эберкромби дважды объехал вокруг земного шара и убедился, что формы облаков повсюду одинаковы. Все облака Гильдебрандсон и Эберкромби разделили на 10 форм в зависимости от ряда характеристик, из которых основной была высота их расположения, или ярус облачности в современной терминологии (рис. 2.2). Впервые же подобное разделение тропосферы на три слоя, соответствующие современным грациям ярусов облачности, предложил еще в начале XIX века Ламарк.

Классификация облаков Гильдебрандсона и Эберкромби была официально принята Международной конференцией директоров метеорологических служб в Мюнхене в 1891 г. Созданный Конференцией комитет на основе этой классификации подготовил и издал в 1896 г. первый Международный облачный атлас с 28 цветными литографиями и приложенной к нему инструкцией по наблюдениям. Атлас вышел на трех языках — французском, английском, немецком, а на русском был издан в 1898 г. Издание Атласа положило начало использованию для обо-

значения облаков единых международных терминов.

В 1922 г. Международная комиссия по изучению облаков, в состав которой входили виднейшие метеорологи разных стран (от Советского Союза членом комиссии был проф. П. А. Молчанов), начала подготовку нового Атласа облаков. Работа была завершена в 1929 г., а в 1932 г. Национальная метеорологическая служба Франции по заданию Международной метеорологической организации выпустила Международный атлас облаков, содержащий 174 фотографии. Издание этого Атласа было приурочено к Международному облачному году, проводившемуся в рамках Международного полярного года (1932—1933 гг.). В 1933 г. несколько сокращенный вариант этого Атласа был издан в Советском Союзе. В Международном атласе облаков были введены многие виды и разновидности облаков, которые используются и в настоящее время, а также были представлены комплексы облачных форм, типичные для некоторых синоптических процессов (так называемые виды неба). К Атласу был приложен код для сообщений результатов наблюдений за облаками по телеграфу, состоящий из 30 позиций. Второе издание этого Атласа на русском языке вышло в 1940 г.

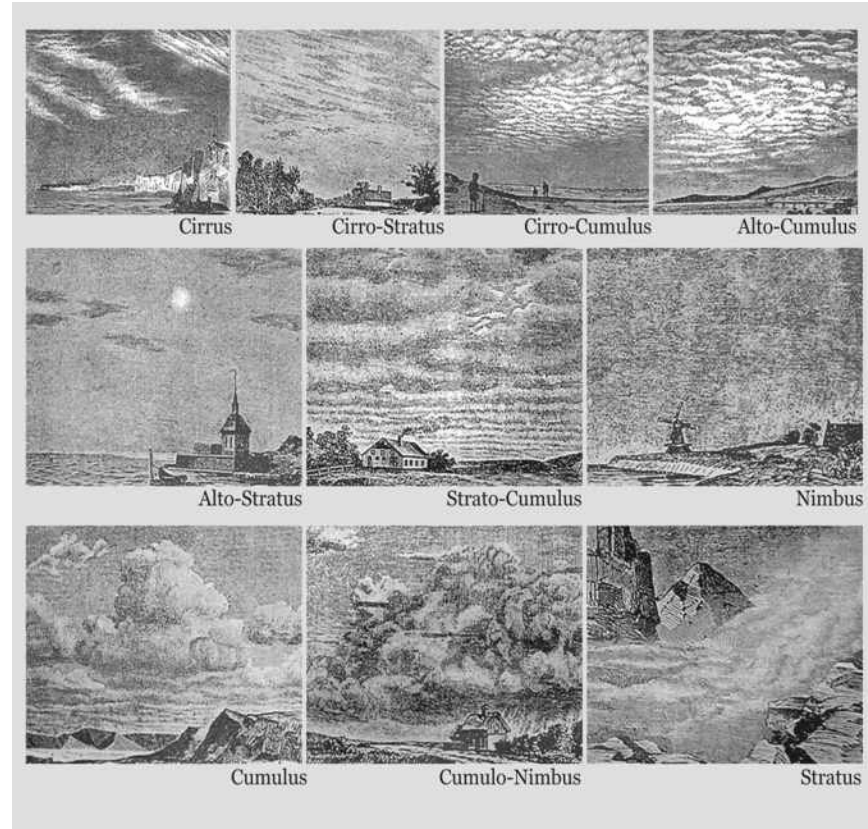


Рис. 2.2. Различные формы облаков по классификации Гильдебрандсона и Эберкромби (Д. А. Лачинов „Основы метеорологии и климатологии”, Санкт-Петербург, 1895 г.).

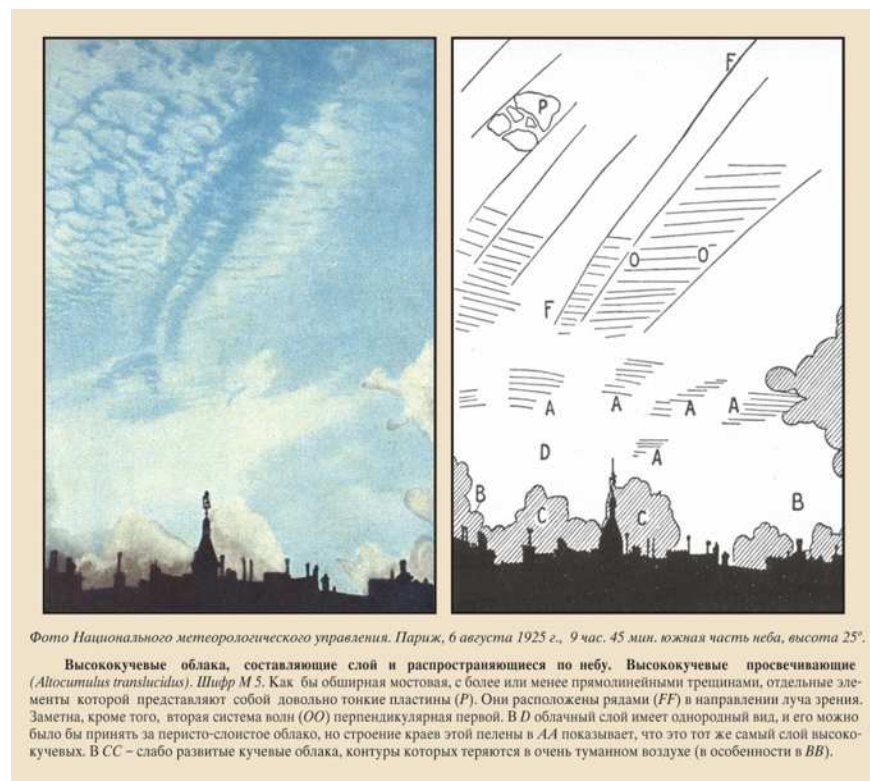


Рис. 2.3. Вид страницы из Международного атласа облаков и состояний неба (русское издание 1940 г.).

Оно содержало 97 фотографий, из них 75 представляли вид облаков с поверхности Земли и 22 — вид сверху, с самолета. Качество фотографий было не слишком хорошим, однако этот недостаток компенсировался подробными схемами, приложенными к каждому снимку (рис. 2.3).

Новое (переработанное и значительно дополненное) издание Международного атласа облаков было опубликовано Всемирной метеорологической организацией в 1956 г. В нем содержалось 224 фотографии, из которых 101 цветная. Советский Атлас облаков, созданный на основе международного, вышел в свет в 1957 г. Классификация, изложенная в этом Атласе, существенно отличалась от международной (эти отличия будут изложены ниже). В 1978 г. в СССР Атлас облаков был переиздан, однако все отличия в нем сохранились.

Последнее издание Международного атласа облаков было осуществлено Всемирной метеорологической организацией в 1987 г.. Атлас был издан на английском языке, на русский язык не переводился.

В различных странах мира используются национальные Атласы облаков, созданные на основе Международного атласа в соответствии с классификацией ВМО (рис. 2.4).

2.2. Современная классификация облаков

Международная классификация облаков в современном виде сформировалась в середине XX века. Классификация подразделяет все облака на формы, виды и разновидности, которым присвоены латинские названия. (В международной классификации принят термин „род облаков” (genega), в российской научной литературе для обозначения рода употребляется термин „форма облаков”.) При описании облаков применяются как полные названия, так и их сокращения. В России, кроме латинских названий облаков, используют соответствующие им русские названия.

Согласно классификации ВМО различают 10 *форм* облаков. Формы облаков в зависимости от их структуры и особенностей внешнего вида подразделяются на *виды*. Каждое облако может быть отнесено только к одной форме и одному виду. Для более детального описания облаков каждой формы используются *разновидности*, которые отражают степень прозрачности, особенности

отдельных облачных элементов, а также их расположение на небе. Применительно к каждому виду могут использоваться одна или несколько разновидностей.

Кроме описанных выше 10 форм, классификацией ВМО определены дополнительные формы облаков, которые наблюдаются только вместе с основной формой. Для некоторых облаков характерны дополнительные особенности.

В случае, когда облака образовались в результате развития или разрушения части другого облака, в классификации ВМО предусмотрена возможность дать дополнительное определение, указывающее на происхождение облака. Для этого к названию формы основного облака прибавляется термин „genitus”. Например, слоисто-кучевое облако (Stratocumulus), образовавшееся в результате растекания основного кучевого облака (Cumulus), называется Stratocumulus cumulogenitus.



Рис. 2.4. На основе Международного атласа облаков созданы национальные Атласы. Так выглядят финский (вверху) и китайский (внизу) Атлас облаков.

При наблюдении за облаками сначала определяют их форму (например, перистые облака — Cirrus, Ci), затем вид (нитевидные — fibratus, fib.); все особенности облаков описываются при помощи разновидностей (например, перепутанные — intortus, int.). При описании название вида и разновидности присоединяются к названию формы (перистые нитевидные перепутанные облака — Cirrus fibratus intortus, Ci fib. int.). Название дополнительной формы или особенности также присоединяется к названию основной формы облака (например, кучевые средние облака с шапкой — Cumulus mediocris pileus, Cu med. pil., высококучевые хлопьевидные облака с полосами падения — Altocumulus floccus virga, Ac floc. vir.). Таким образом, из имеющихся в классификации ВМО терминов можно составить комбинацию, которая будет наиболее полно описывать облако со всеми его особенностями.

В российской классификации облаков, применяемой в настоящее время, используются более жесткие правила: определяется форма облаков, вид и соответствующая только этому виду разновидность, причем разновидности взаимно исключают друг друга. Дополнительные формы облаков и дополни-

тельные особенности не выделяются, а внесены в классификацию в качестве разновидностей (например, разновидностью высокослоистых туманообразных облаков являются облака, дающие осадки, — *Altostratus nebulosus praecipitans*, *As neb. prae.*). Существует также некоторое несоответствие международной классификации в определении отдельных видов и разновидностей облаков (например, в российской классификации когтевидные облака (*uncinus*, *unc.*) определены как разновидность перистых нитевидных (*Cirrus fibratus uncinus*, *Ci fib. unc.*), тогда как в классификации ВМО они представляют собой отдельный вид перистых облаков — перистые когтевидные (*Cirrus uncinus*, *Ci unc.*)). Кроме того, в российской классификации существуют виды и разновидности облаков, отсутствующие в классификации ВМО. Так, например, в качестве вида перисто-кучевых, высококучевых и слоисто-кучевых облаков

выделены кучевообразные облака (*cumuliformis*, *cuf.*), разновидностями слоисто-кучевых облаков являются растекающиеся дневные (*diurnalis*, *diur.*) и растекающиеся вечерние (*vesperalis*, *vesp.*) облака, разновидностью слоистых облаков являются разорванно-дождевые облака (*Fractonimbus*, *Frnb.*).

Полностью международная классификация облаков приведена в таблице и в разделах 2.3—2.12, где изложены особенности каждой формы облаков, приводятся данные об их внешнем виде, прозрачности, микроструктуре, высоте основания и пространственных размерах, повторяемости, наблюдаемых в них оптических явлениях, а также об их связи с крупномасштабными атмосферными явлениями, отмечены виды и разновидности облаков, дана краткая характеристика их отличий от облаков других форм. В разделе 2.13 рассмотрены дополнительные формы и особенности облаков.

ОБЛАКА ВЕРХНЕГО ЯРУСА

Перистые облака (Cirrus, Ci)	
Вид	Разновидность
<i>Нитевидные</i> – fibratus (fib.)	<i>Перепутанные</i> – intortus (int.)
<i>Когтевидные</i> – uncinus (unc.)	<i>Радиальные</i> – radiatus (rad.)
<i>Плотные</i> – spissatus (sp.)	<i>Хребтовидные</i> – vertebratus (vert.)
<i>Башенковидные</i> – castellanus (cast.)	<i>Двойные</i> – duplicatus (dup.)
<i>Хлопьевидные</i> – floccus (floc.)	

Перисто-кучевые облака (Cirrocumulus, Cc)	
Вид	Разновидность
<i>Слоистообразные</i> – stratiformis (str.)	<i>Волнистые</i> – undulatus (und.)
<i>Чечевицеобразные</i> – lenticularis (lent.)	<i>Дырявые</i> – lacunosus (lac.)
<i>Башенковидные</i> – castellanus (cast.)	
<i>Хлопьевидные</i> – floccus (floc.)	

Перисто-слоистые облака (Cirrostratus, Cs)	
Вид	Разновидность
<i>Нитевидные</i> – fibratus (fib.)	<i>Двойные</i> – duplicatus (du.)
<i>Туманообразные</i> – nebulosus (neb.)	<i>Волнистые</i> – undulatus (und.)

ОБЛАКА СРЕДНЕГО ЯРУСА

Высококучевые облака (Alto cumulus, Ac)	
Вид	Разновидность
<i>Слоистообразные</i> – stratiformis (str.)	<i>Просвечивающие</i> – translucidus (trans.)
<i>Чечевицеобразные</i> – lenticularis (lent.)	<i>С просветами</i> – perlucidus (per.)
<i>Башенковидные</i> – castellanus (cast.)	<i>непросвечивающие</i> – opacus (op.)
<i>Хлопьевидные</i> – floccus (floc.)	<i>Двойные</i> – duplicatus (dup.)
	<i>Волнистые</i> – undulatus (und.)
	<i>Радиальные</i> – radiatus (rad.)
	<i>Дырявые</i> – lacunosus (lac.)

Высокослоистые облака (Altostratus, As)	
Вид	Разновидность
Не выделяются	<i>Просвечивающие</i> – translucidus (trans.)
	<i>Непросвечивающие</i> – opacus (op.)
	<i>Двойные</i> – duplicatus (du.)
	<i>Волнистые</i> – undulatus (und.)
	<i>Радиальные</i> – radiatus (rad.)

Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns)	
Вид	Разновидность
Не выделяются	

ОБЛАКА НИЖНЕГО ЯРУСА

Слоистые облака (Stratus, St)	
Вид	Разновидность
Туманообразные – nebulosus (neb.)	Непросвечивающие – opacus (op.)
Разорванные – fractus (fr.)	Просвечивающие – translucidus (trans.)
	Волнистые – undulatus (und.)

Слоисто-кучевые облака (Stratocumulus, Sc)	
Вид	Разновидность
Слоистообразные – stratiformis (str.)	Просвечивающие – translucidus (trans.)
Чечевицеобразные – lenticularis (lent.)	С просветами – perlucidus (per.)
Башенковидные – castellanus (cast.)	Непросвечивающие – opacus (op.)
	Двойные – duplicatus (dup.)
	Волнистые – undulatus (und.)
	Радиальные – radiatus (rad.)
	Дырявые – lacunosus (lac.)

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФОРМЫ
И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ
ОСОБЕННОСТИ ОБЛАКОВ

ОБЛАКА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Кучевые облака (Cumulus, Cu)	
Вид	Разновидность
Разорванные – fractus (fr.)	радиальные – radiatus (rad.)
Плоские – humilis (hum.)	
Средние – mediocris (med.)	
Мощные – congestus (cong.)	

Кучево-дождевые облака (Cumulonimbus, Cb)	
Вид	Разновидность
Лысые – calvus (calv.)	Не выделяются
Волосатые – capillatus (cap.)	

Дополнительные формы
Шапки (Pileus, pil.)
Вуаль (Velum, vel.)
Ключья (Pannus, pann.)
Дополнительные особенности
Вымя (Mamma, mam.)
Наковальня (Incus, inc.)
Полосы падения (Virga, virg.)
Осадки (Praecipitatio, prae.)
Грозовой вал (Arcus, arc.)
Хобот (Tuba, tub.)

2.3. Перистые облака (Cirrus, Ci)

Высота нижней границы	7—10 км
Толщина слоя	От сотен метров до нескольких километров
Структура	Кристалли- ческая
Осадки	Не достигают Земли
Прозрачность	Просвечивают солнце, луна, голубое небо
Оптические явления	Гало, ложные солнца

Внешний вид перистых облаков (Cirrus, Ci) довольно разнообразен: от тонких полупрозрачных едва заметных нитей до плотных облачных массивов, простирающихся на многие километры в горизонтальной плоскости и до нескольких километров по вертикали. Облака могут выглядеть как прямые или спутанные в клубки тонкие белые волокна или как разбросанные по небу клочья.

Перистые облака по форме могут напоминать и рыболовные крючки, и рыбы скелеты, и конские гривы, и перья. Общими чертами всех этих облаков являются более или менее выраженная волокнистая структура и яркий белый цвет, иногда с холодным голубоватым оттенком.

Поскольку перистые облака обычно располагаются выше других облаков, то после захода солнца они еще долго остаются освещенными, приобретая золотистую или красноватую окраску. Ночью при свете луны они кажутся более плотными, чем днем, в безлунную ночь почти неразличимы,

а утром окрашиваются в цвета зари раньше других облаков.

Сквозь перистые облака просвечивают солнце, луна и яркие звезды. Вокруг солнца часто наблюдаются круги или части кругов — гало.

Причиной образования перистых облаков является подъем относительно влажного и теплого воздуха в верхний слой тропосферы. При подъеме воздух адиабатически охлаждается и водяной пар сублимируется, т. е. в воздухе образуются ледяные кристаллы.

Перистые облака состоят из кристаллов льда в виде призм и столбиков, обычно довольно крупных (0,01—0,1 мм). Эти кристаллы медленно падают, но поверхности Земли не достигают, испаряясь на больших высотах. При падении кристаллов образуются нити, волокна и шлейфы протяженностью в сотни метров, причем их направление под действием ветра изменяется, что и придает облакам причудливые формы.

В умеренных широтах перистые облака в зависимости от времени года образуются на высотах от 7 до 10—12 км, т. е. до верхней границы тропосферы. Толщина слоя перистых облаков колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен метров, иногда может достигать километра и более. К примеру, радиус загиба „коготков” перистых когтевидных облаков составляет сотни метров, длина полос падения осадков из перистых хлопьевидных облаков — несколько километров. Такой же может быть и толщина плотных перистых облаков, являющихся остатками наковален кучево-дождевых облаков.

Перистые облака входят в системы облачности атмосферных фронтов, поскольку основные процессы, приводящие к подъему значительных масс воздуха, происходят именно на фронтах. К таким процессам относятся восходящее скольжение воздуха вдоль поверхности фронта и конвективные движения при развитии кучево-дождевых облаков.

Перистые облака находятся во главе облачных систем теплого фронта и фронтов окклюзии. При ясном небе на приближение этих фронтов указывает полоса перистых облаков, вытянувшаяся вдоль линии гори-



Рис. 2.5. Перистые нитевидные (*Cirrus fibratus*) и перистые когтевидные облака (*Cirrus uncinus*). Радиально сходящиеся к горизонту нити перистых облаков местами имеют когтевидные загибы.

ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.6. Две группы перистых облаков, расположенные под углом друг к другу, находятся на разных уровнях, что позволяет распознать их как *перистые нитевидные двойные облака* (*Cirrus fibratus duplicatus*, *Ci fib. du.*). Вечером перистые облака долго остаются освещенными заходящим солнцем и приобретают золотистую или красноватую окраску.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.7. Волокна *перистых нитевидных перепутанных облаков* (*Cirrus fibratus intortus*) имеют беспорядочный вид.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

зонта. Затем облака надвигаются, постепенно закрывая все небо и сменяясь пеленой перисто-слоистых облаков. Обычно перистые облака, предшествующие теплomu фронту, имеют более или менее выраженную когтевидную форму (рис. 2.5).

При прохождении холодного фронта I рода перистые облака обычно скрыты слоем нижележащей фронтальной облачности и становятся видимыми только после ее прохождения. На холодном фронте II рода перистые облака как часть облачной системы отсутствуют, однако они часто образуются при распаде ледяных наковален фронтальных кучево-дождевых облаков.

После разрушения фронтальных облачных систем обширные массы перистых облаков зачастую продолжают свое существование и могут переноситься сильными ветрами, характерными для верхнего слоя тропосферы, на многие сотни и тысячи километров. Поэтому появление даже значительных масс перистых облаков не всегда означает приближение фронта.

Перистые облака могут образовываться и вне фронтальных систем, например, из наковален внутримассовых кучево-дождевых облаков или при эволюции других типов облаков верхнего яруса — перисто-сло-

истых и перисто-кучевых. Примером трансформации облаков верхнего яруса может служить образование перистых нитевидных или перистых перепутанных облаков из полос осадков, выпадающих из перисто-кучевых облаков.

Поскольку перистые облака в основном образуются на атмосферных фронтах, то их повторяемость выше в районах с повышенной циклонической активностью и в зонах климатических фронтов.

Согласно классификации ВМО перистые облака подразделяются на пять видов.

1. *Перистые нитевидные* (Cirrus fibratus, Ci fib.) (рис. 2.6, 2.7). В структуре Ci fib. отчетливо просматриваются отдельные разрозненные волокна. У горизонта они вследствие эффекта перспективы могут казаться слитыми воедино. Перистые нитевидные облака можно спутать с перистослоистыми нитевидными (Cirrostratus fibratus), но они, в отличие от Cs fib., не образуют сплошного слоя.

2. *Перистые когтевидные* (Cirrus uncinus, Ci unc.) (рис. 2.8, 2.9). По внешнему виду Ci unc. напоминают крючки. Параллельные или радиально расходящиеся нити заканчиваются уплотнениями или крючкообразно заггибаются вверх. При приближе-



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.8. Типичный вид *перистых когтевидных облаков* (Cirrus uncinus) перед теплым фронтом.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.9. Наряду с крючкообразными заггибами утолщения на концах нитей также являются признаком *перистых когтевидных облаков* (Cirrus uncinus).

нии теплого фронта перистые когтевидные облака могут занимать большую часть небосвода.

3. *Перистые плотные* (Cirrus spissatus, Ci sp.) (рис. 2.10, 2.11). Облака образуются при разрушении ледяных вершин кучево-дождевых облаков и некоторое время могут сохранять характерную форму их наковален. В начале своего существования Ci sp. бывают наиболее плотными, могут создавать собственные тени, солнце сквозь них не просвечивает. Облака имеют характерный для Ci белый цвет и волокнистую структуру, которая выражена менее отчетливо, чем у Ci fib. Можно наблюдать следы падения осадков, не достигающих поверхности Земли.

4. *Перистые башенковидные* (Cirrus castellanus, Ci cast.). На волокнах облаков заметны растущие вверх выступы в виде небольших башенок. Образование Ci cast. связано с восходящими движениями в верхнем слое тропосферы.

5. *Перистые хлопьевидные* (Cirrus floccus, Ci floc.) (см. рис. 2.11, рис. 2.12). Облака имеют вид разрозненных ярко-белых хлопьев неправильной формы часто с полосами падения ледяных кристаллов в виде длинных белых нитей. Перистые хлопьевидные облака похожи на перисто-кучевые хлопьевидные, однако элементы Ci floc. расположены неупорядоченно, как правило, имеют большие размеры и различную волокнистую структуру.

Рис. 2.10. *Перистые плотные облака* (Cirrus spissatus) с плотной центральной частью и хорошо различимой волокнистой структурой по краям образовались из ледяной наковальни при разрушении кучево-дождевого облака и сохранили ее форму.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Выделяются следующие разновидности перистых облаков.

1. *Перистые перепутанные* (Cirrus intortus, Ci int.) (см. рис. 2.7). Отличительная особенность перистых перепутанных облаков заключается в хаотическом переплетении их волокон, расположенных под разными углами друг к другу и к горизонту. Волокна причудливо изгибаются и могут напоминать разбросанные по небу клубки ниток.

2. *Перистые радиальные* (Cirrus radiatus, Ci rad.) (см. рис. 2.5). Под влиянием эффекта перспективы параллельные волокна облаков кажутся сходящимися в одной точке.

3. *Перистые хребтовидные* (Cirrus vertebratus, Ci vert.). Облака напоминают хребет рыбы: в средней части облако более плотное, почти перпендикулярно к средней части в обе стороны расходятся нити. Иногда такие облака образуются на оси струйного течения.

4. *Перистые двойные* (Cirrus duplicatus, Ci dup.) (см. рис. 2.6). Группы облаков с параллельными волокнами, расположенные на разных уровнях. Особенно хорошо Ci dup. различимы, когда волокна этих групп располагаются под некоторым углом друг к другу.



ФОТО О. АНДРЕЕВА

Рис. 2.11. *Перистые хлопьевидные облака* (Cirrus floccus) (вверху) и *перистые плотные облака* (Cirrus spissatus) (внизу), образовавшиеся из наковален кучево-дождевых облаков.



ФОТО О. АНДРЕЕВА

Рис. 2.12. Из крупных элементов *перистых хлопьевидных облаков* (Cirrus floccus) тянутся полосы падения ледяных кристаллов.

2.4. Перисто-кучевые облака (Cirrocumulus, Cc)

Высота нижней границы	6–8 км
Толщина слоя	200–400 м
Структура	Кристаллическая
Осадки	Наблюдаются полосы падения
Прозрачность	Хорошо просвечивают солнце, луна, голубое небо
Оптические явления	Иризация, гало, венцы

Перисто-кучевые облака (Cirrocumulus, Cc) имеют вид отдельных элементов небольших размеров — тонкой ряби, хлопьев, расположенных более или менее упорядоченно, часто волнообразно.

Отличительными чертами перисто-кучевых облаков являются их белый или голубовато-белый цвет, наличие волн и частично волокнистое строение.

Эти облака встречаются реже других облаков верхнего яруса. Обычно они наблюдаются в небольшом количестве, редко распространяясь на значительную часть неба, и существуют непродолжительное время. Повторяемость Cc больше в горных районах, где их образование связано с орографическими факторами.

Перисто-кучевые облака редко встречаются при отсутствии других облаков. Чаще всего они наблюдаются на одном уровне с перистыми или перисто-слоистыми облаками, иногда переходя в эти облака. Слой Cc может находиться над одним или

несколькими слоями высококучевых облаков.

Перисто-кучевые облака отличаются небольшой плотностью и высокой прозрачностью, сквозь них просвечивают солнце, луна, яркие звезды. Иногда слой Cc настолько прозрачен, что его трудно различить на фоне голубого неба. Изредка на облаках можно наблюдать явление иризации, гало и венцы.

Волнообразная структура облаков Cc связана с особенностями их происхождения. Они образуются в инверсионных слоях, на вершинах гравитационных волн либо в конвективных ячейках верхней тропосферы.

Перисто-кучевые облака состоят из мелких ледяных кристаллов, имеющих форму столбиков или призм. Иногда в облаках присутствуют и переохлажденные капли. Осадки из перисто-кучевых облаков, как правило, не выпадают, но иногда можно наблюдать полосы падения ледяных кристаллов.

В умеренных широтах перисто-кучевые облака образуются в верхней тропосфере на высотах 6—8 км. Эти облака наряду с высококучевыми являются самыми тонкими облаками: толщина их слоя составляет не более 200—400 м. Горизонтальная протяженность Сс редко превышает несколько десятков километров.

Облака Сс не являются основными облаками фронтальных облачных систем, однако могут наблюдаться перед холодным фронтом II рода (обычно чечевицеобразные облака). В небольшом количестве они также образуются при растекании фронтальных кучево-дождевых облаков в верхнем слое, в инверсиях высоких теплых антициклонов.

Иногда Сс наблюдаются в области струйных течений. Под влиянием сильных ветров они соединяются в длинные полосы, вытянутые по направлению течения, часто внутри облачного массива образуются поперечные основному потоку волны.

Согласно классификации ВМО выделяют четыре вида перисто-кучевых облаков.

1. *Перисто-кучевые слоистообразные* (Cirrocumulus stratiformis, Сс str.) (рис. 2.13). Протяженный слой, состоящий из отдельных элементов, покрывающий существенную часть неба.



Рис. 2.13. Отдельные элементы *перисто-кучевых слоистообразных волнистых облаков* (Cirrocumulus stratiformis undulatus) сгруппированы в волны и образуют единый слой, закрывающий видимую часть небосвода.

ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.14. Отдельные, не образующие слоя, полупрозрачные *перисто-кучевые чечевицеобразные* облака (*Cirrocumulus lenticularis*) имеют характерную форму — удлиненные овалы.



ФОТО Е. ГОЛОВИНОЙ

Рис. 2.15. *Перисто-кучевые хлопьевидные* облака с *полосами падения* (*Cirrocumulus floccus virga*).



ФОТО А. АНДРЕЕВА

От высококучевых слоистообразных облаков (*Ac str.*) отличаются меньшими размерами и большей прозрачностью элементов слоя, а также отсутствием теней.

2. *Перисто-кучевые чечевицеобразные* (*Cirrocumulus lenticularis*, *Cc lent.*) (рис. 2.14). Это отдельные вытянутые облака с четкими контурами, имеющие овальную форму. Иногда внутри облака наблюдаются мелкие волны. По форме эти облака схожи с высококучевыми чечевицеобразными (*Ac lent.*), но обычно имеют меньшие размеры и белый цвет без теней.

3. *Перисто-кучевые башенковидные* (*Cirrocumulus castellanus*, *Cc cast.*). Облака с четко выраженной нижней границей имеют признаки развития по вертикали в виде небольших башенок, растущих вверх. Отличительной особенностью башенковидных облаков является общее основание (база), из которой поднимаются вверх несколько башенок.

4. *Перисто-кучевые хлопьевидные* (*Cirrocumulus floccus*, *Cc floc.*) (рис. 2.15, 2.16). Выглядят как белые мелкие хлопья, разбросанные по небу или собранные в группы. Могут наблюдаться следы выпадения осадков (*virga*) в виде волокнистых полос, часто деформированных ветром. От *Ci floc.* их отличает заметная упорядочен-

ность. От высоко-кучевых хлопьевидных облаков (Ac floc.) Cc floc. можно отличить по ярко-белому цвету, отсутствию теней и меньшим размерам.

Выделяют две разновидности перисто-кучевых облаков.

1. *Перисто-кучевые волнистые* (Cirrocumulus undulatus, Cc und.) (рис. 2.17). Белые тонкие облака без серых оттенков расположены на небосводе в виде волн.

2. *Перисто-кучевые дырявые* (Cirrocumulus lacunosus, Cc lac.). Слой облаков, напоминающий тонкую сеть или кружевное полотно.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.16. Через слой *перисто-кучевых хлопьевидных облаков* (Cirrocumulus flocus) со слабо выраженной волнистой структурой просвечивают вышележащие перисто-слоистые облака, хорошо различимые по эффекту гало.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.17. Небольшое количество *перисто-кучевых волнистых облаков* (Cirrocumulus undulatus) наблюдается вместе с другими облаками верхнего яруса (Ci fib. и Ci fib. int.). На закате Cc блестят в лучах заходящего солнца, напоминая рыбью чешую.

2.5. Перисто-слоистые облака (Cirrostratus, Cs)

Высота нижней границы	6–8 км
Толщина слоя	От 0,1 км до нескольких километров
Структура	Кристаллическая
Осадки	Не достигают поверхности Земли
Прозрачность	Просвечивают солнце, луна, небо
Оптические явления	Гало, ложные солнца и т.п.

Перисто-слоистые облака (Cirrostratus, Cs) имеют вид тонкой белесой или голубовато-белой пелены однородной, волокнистой или волнистой структуры.

Часто слой перисто-слоистых облаков закрывает весь небосвод. Если же Cs занимают лишь часть небосвода, то край слоя может иметь резко очерченную границу, постепенно растворяться в голубом небе или плавно переходить в перистые или перисто-кучевые облака.

Облака Cs обычно прозрачны. Сквозь слой этих облаков просвечивают голубое небо, солнце, луна и яркие звезды. Освещенность земной поверхности при наличии перисто-слоистых облаков почти не уменьшается, предметы отбрасывают тени, но менее контрастные, чем при ясном небе. Иногда однородная пелена Cs настолько прозрачна, что проявляется лишь в легком молочном оттенке неба или оптических явлениях.

В перисто-слоистых облаках могут наблюдаться гало, ложные солнца, вертикаль-

ные столбы, проходящие через солнечный диск и т. п. (рис. 2.18). При восходе и заходе солнца на слое Cs иногда появляются тени нижележащих облаков и конденсационных следов самолетов.

Перисто-слоистые облака образуются при подъеме относительно влажного и теплого воздуха в верхний слой тропосферы в зонах атмосферных фронтов. При подъеме воздух адиабатически охлаждается, и водяной пар сублимируется, образуются ледяные кристаллы.

Перисто-слоистые облака состоят из ледяных кристаллов, имеющих форму игл, шестигранных столбиков или ледяных пластинок. Осадки из Cs выпадают в виде очень слабого снега или ледяных игл. Обычно они испаряются при падении, но при очень низкой температуре воздуха могут достигать поверхности Земли (так называемая алмазная пыль). Это явление иногда наблюдается зимой в Восточной Сибири. Там эти облака располагаются гораздо ниже, чем в умерен-

ных широтах, где они образуются на высотах 6—8 км, а верхняя их граница обычно близка к тропопаузе.

Толщина слоя Cs колеблется в широких пределах — от 100 м до нескольких километров. Если слой Cs отделен от нижележащей системы Ns—As безоблачной прослойкой, то его толщина в среднем составляет 1—2 км. Единый слой облачной системы Ns—As—Cs может простираться до тропопаузы, т. е. в умеренных широтах до высоты 10—12 км. В этом случае, если считать, что нижняя граница перисто-слоистых облаков расположена на высоте 6 км, то толщина слоя Cs может достигать 4—6 км.

Слой перисто-слоистых облаков, вытянутый вдоль линии фронта, простирается на сотни, а иногда и тысячи километров, ширина слоя составляет в среднем 100—200 км (иногда значительно больше). На теплом фронте и фронтах окклюзии слой Cs обычно шире, чем на холодных фронтах.

При приближении теплого фронта и фронтов окклюзии перисто-слоистые облака появляются вслед за перистыми, постепенно затягивая пеленой все небо. При этом часто наблюдается явление гало. В случае типичной фронтальной облачной системы Cs сменяются более плотными высокослоистыми облаками (As).



Рис. 2.18. На однородной пелене *перисто-слоистых туманообразных облаков* (Cirrostratus nebulosus), окрашенных лучами восходящего солнца, ясно различима верхняя часть гало.

ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.19. Ярко очерченный край слоя *перисто-слоистых нитевидных облаков* (Cirrostratus fibratus), на котором хорошо различимо окрашенное в радужные цвета гало.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.20. Тонкую пелену *перисто-слоистых туманообразных облаков* (Cirrostratus nebulosus), едва различимую на фоне голубого неба, легко обнаружить по наличию гало.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

На холодном фронте I рода перисто-слоистые облака появляются по мере прохождения фронта вслед за высокослоистыми, затем постепенно разрушаются, теряют вид сплошной пелены и переходят в перистые облака.

В облачных системах холодного фронта II рода перисто-слоистые облака отсутствуют.

Иногда перисто-слоистые облака образуются в результате трансформации других видов облаков, например при уплотнении перистых нитевидных. Они также могут образовываться из ледяных кристаллов, выпадающих из перисто-кучевых или перистых хлопьевидных облаков.

Повторяемость перисто-слоистых облаков выше в районах с повышенной циклонической активностью и в зонах климатических фронтов. Поскольку Cs чаще связаны с теплыми фронтами, чем с холодными, то они, так же как и теплые фронты, наблюдаются чаще зимой, чем летом.

Согласно классификации ВМО перисто-слоистые облака подразделяются на два вида.

1. *Перисто-слоистые нитевидные* (Cirrostratus fibratus, Cs fib.) (рис. 2.19). Имеют вид белой пелены с волокнистым строением. В отличие от Ci fib. пелена облаков не-

прерывна и не распадается на отдельные элементы, волокнистая структура выражена не так ярко.

2. *Перисто-слоистые туманообразные* (Cirrostratus nebulosus, Cs neb.) (рис. 2.20—2.22). Однородная белая или голубоватая пелена. В отличие от высокослоистых облаков, перисто-слоистые выглядят менее плотными. Важным признаком является наличие теней от предметов при освещении солнцем поверхности Земли через слой Cs (в случае As тени отсутствуют или очень нерезкие).

Выделяются две разновидности перисто-слоистых облаков.

1. *Перисто-слоистые двойные* (Cirrostratus duplicatus, Cs du.). Два слоя волокнистых Cs на разных уровнях. Эти слои хорошо различимы, если их волокна расположены под углом друг к другу и кажутся пересекающимися.

2. *Перисто-слоистые волнистые* (Cirrostratus undulatus, Cs und.). На пелене Cs различимы волны. В отличие от Cs und., утолщения слоя в гребнях волн обычно менее заметны. При развитии волновых процессов и возникновении конвекции в слое возможна трансформация перисто-слоистых облаков в перисто-кучевые.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.21. На снимке хорошо различим край слоя *перисто-слоистых туманообразных облаков* (Cirrostratus nebulosus). Белая тонкая пелена облаков плавно сливается с голубым небом, сквозь слой Cs просвечивает луна.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.22. Ночью луна просвечивает сквозь однородную пелену *перисто-слоистых туманообразных облаков* (Cirrostratus nebulosus).

2.6. Высококучевые облака (Alto cumulus, Ac)

Высота нижней границы	2–6 км
Толщина слоя	200–700 м
Структура	Капельная, иногда смешанная, реже кристаллическая
Осадки	Иногда наблюдаются полосы падения
Прозрачность	В тонких облаках местами просвечивают солнце и луна
Оптические явления	Венцы, иризация

Высококучевые облака (Alto cumulus, Ac) имеют вид слоев или гряд, состоящих из отдельных элементов с четкими очертаниями. Облака могут быть белого или серого цвета, они создают собственные тени. Отдельные части элементов облаков бывают окрашены по-разному.

Нередко элементы высококучевых облаков выстраиваются в ряды, расположенные параллельно или правильными дугами. Ряды могут визуально сливаться в одной точке. Внутри таких рядов элементы облаков зачастую имеют примерно равные размеры и схожие очертания.

Высококучевые облака могут распространяться как на часть неба, так и на весь небосвод. На нижней поверхности облаков часто различимы отдельные элементы или волны.

Эти облака отличаются заметной плотностью и невысокой прозрачностью. Солнце, луна, яркие звезды просвечивают только сквозь тонкие части облаков. Если же обла-

ка сливаются в единый слой, то местоположение солнца определить бывает невозможно. На облаках можно наблюдать явление иризации и венцы.

Основная причина образования высококучевых облаков — конденсация водяного пара в гребнях волн, развивающихся, как правило, под слоем температурной инверсии, а также в конвективных ячейках.

Облака Ac в основном состоят из капель радиусом 4—5 мкм, иногда в смеси с ледяными кристаллами (в форме столбиков или пластинок) и снежинками. При низкой температуре воздуха эти облака могут быть полностью кристаллическими. Осадки из высококучевых облаков редко достигают поверхности Земли, и при этом имеют вид отдельных капель или снежинок. Чаще можно наблюдать волокнистые полосы падения осадков (virga), испаряющихся в слое под облаком.

В умеренных широтах высококучевые облака образуются на высотах 2—6 км.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.23. Слой высококучевых облаков состоит из белых крупных пластин. Элементы облаков выстроены в линии, радиально сходящиеся к горизонту. Облака распознаются как *высококучевые слоистообразные радиальные* (Altostratus stratiformis radiatus).

Толщина слоя высококучевых облаков, как правило, не превышает 200—700 м. Нередко слои этих облаков одновременно присутствуют на разных уровнях (до 4—6 слоев), толщина безоблачных прослоек при этом составляет от десятков метров до нескольких километров. По горизонтали слой высококучевых облаков может простираться на несколько сотен километров.

Высококучевые облака не являются типичными для фронтальных облачных систем, однако нередко бывают связаны с различными фронтами.

На фронтах окклюзии и разрушающихся теплых фронтах высококучевые облака наблюдаются одновременно с высокослоистыми (Altostratus, As). В этом случае возможна трансформация As в As и, наоборот, — As в As. Высококучевые облака (в основном, чечевицеобразные) иногда предшествуют облачной системе холодного фронта II рода.

При перетекании воздуха через горные препятствия возникают вынужденные волновые движения. В этом случае образуются орографические высококучевые чечевицеобразные облака.

Рис. 2.24. *Высококучевые слоистообразные просвечивающие облака (Alto-cumulus stratiformis translucidus) закрывают всю видимую часть небосвода. Элементы облаков достаточно прозрачны, между ними наблюдаются значительные просветы.*



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.25. *Ночью сквозь слой высококучевых слоистообразных с просветами облаков (Alto-cumulus stratiformis perlucidus) видна луна, вокруг которой наблюдается яркий венец.*



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Высококучевые облака могут образоваться при растекании кучевых (Cumulus, Cu) или кучево-дождевых (Cumulonimbus, Cb) облаков под слоем инверсии.

Согласно классификации ВМО выделяются четыре вида высококучевых облаков.

1. *Высококучевые слоистообразные (Alto-cumulus stratiformis, Ac str.)* (рис. 2.23—2.28). Полностью или частично закрывают небо и имеют вид слоя. Элементы облаков могут быть разделены просветами или слиты воедино.

В отличие от высокослоистых (Alto-stratus, As) облаков высококучевые облака не имеют волокнистой структуры и не образуют однородного серого слоя.

2. *Высококучевые чечевицеобразные (Alto-cumulus lenticularis, Ac lent.)* (рис. 2.29). Имеют характерную вытянутую овальную форму с четкими очертаниями. В центральной части облака наиболее плотные, с тенями. Края облака более тонкие, сквозь них может просвечивать солнце, и тогда вокруг них наблюдается золотистая кайма хлопьевидной или слегка волокнистой структуры. На чечевицеобразных облаках часто наблюдается явление иризации.

В отличие от *Cs lent.* высококучевые чечевицеобразные облака имеют более значительные размеры и собственные тени.

3. *Высококучевые башеновидные* (*Alto cumulus castellanus*, *Ac cast.*) (рис. 2.30). На облаках с четко выраженным общим основанием развиваются отдельные кучевообразные выросты в виде башенок. *Ac cast.* образуются при наличии восходящих движений воздуха на высоте более 2 км. Летом появление *Ac cast.* часто является предвестником грозы.

По сравнению с *Cs cast.* высококучевые башеновидные облака имеют большие размеры, на них заметны тени. От слоисто-кучевых башеновидных облаков (*Sc cast.*) *Ac cast.* отличаются меньшей плотностью и более светлой окраской, нижняя их граница расположена заметно выше.

4. *Высококучевые хлопьевидные* (*Alto cumulus floccus*, *Ac floc.*) (рис. 2.31). Облака выглядят как отдельные хлопья неправильной формы, часто с признаками вертикального развития. Хлопья могут быстро менять свои очертания и размеры. Нередко под *Ac floc.* наблюдаются следы падения осадков (*virga*) в виде серых или белых волокнистых полос, направленных вниз под некоторым углом к поверхности Земли.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.26. Два слоя высококучевых облаков. Верхний слой — высококучевые слоистообразные с просветами облака (*Alto cumulus stratiformis perlucidus*) — состоит из продолговатых элементов с незначительными просветами. Нижний слой — высококучевые слоистообразные непросвечивающие облака (*Alto cumulus stratiformis opacus*) — почти однородный, с неярко выраженным волнистым строением.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.27. Слой высококучевых слоистообразных волнистых облаков (*Alto cumulus stratiformis undulatus*) с ярко выраженными волнами, подчеркнутыми освещением.

Рис. 2.28. *Высококучевые слоистообразные дырявые облака* (*Alto cumulus stratiformis lacunosus*), освещенные заходящим солнцем, напоминают ажурное кружево.



ФОТО Е. ГОЛОВИНОЙ

Рис. 2.29. Отдельное высококучевое чечевицеобразное облако (*Alto cumulus lenticularis*) значительных размеров имеет характерную овальную форму и затенено в наиболее плотной центральной части. На менее плотных краях и в передней части облака наблюдается хлопьевидная кайма.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

От Сс флос. высококучевые хлопьевидные облака отличаются наличием теней и большими размерами, а также более серым цветом полос падения, свидетельствующем о том, что эти облака жидкокапельные.

Выделяется семь разновидностей высококучевых облаков.

1. *Высококучевые просвечивающие* (*Alto cumulus translucidus*, Ac trans.) (см. рис. 2.24). Слой или гряды облаков, элементы которых настолько прозрачны, что пропускают прямую солнечную радиацию и позволяют определить местоположение солнца.

2. *Высококучевые с просветами* (*Alto cumulus perlucidus*, Ac per.) (см. рис. 2.25, 2.26). Слой облаков, состоящий из отдельных элементов, между которыми имеются просветы.

3. *Высококучевые непросвечивающие* (*Alto cumulus opacus*, Ac op.) (см. рис. 2.26). Облака слиты в единый слой, на нижней поверхности которого хорошо различимы отдельные элементы. Облака достаточно плотные, солнце сквозь них не просвечивает, и определить его местоположение невозможно.

4. *Высококучевые двойные* (*Alto cumulus duplicatus*, Ac du.). Два или несколько слоев высококучевых облаков располагаются на близлежащих уровнях. Облака вышележащего слоя можно наблюдать в просвете

тах между элементами слоя, лежащего ниже. При косом солнечном освещении утром или вечером более низкие *Ac* заметно темнее.

5. *Высококучевые волнистые* (*Alto-cumulus undulatus*, *Ac und.*) (см. рис. 2.27). Облака расположены волнообразными рядами, разделенными просветами или слившимися между собой.

Структура волн *Ac und.* подчеркнута тенями и разными оттенками серого цвета, что отличает эти облака от *Cs und.*

6. *Высококучевые радиальные* (*Alto-cumulus radiatus*, *Ac rad.*) (см. рис. 2.23). Облака выстроены в полосы или гряды, расположенные параллельно. В перспективе они кажутся сходящимися в одной точке, а если полосы пересекают все небо — то в двух противоположных точках у горизонта.

7. *Высококучевые дырявые* (*Alto-cumulus lacunosus*, *Ac lac.*) (см. рис. 2.28). Достаточно тонкий слой облаков со множеством дырок, имеющих округлую форму, часто с рваными краями. Если дырки расположены упорядоченно, то слой облаков напоминает сеть.

От *Cs lac.* высококучевые дырявые облака отличаются большим размером как элементов облаков, так и дырок.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.30. Гряда *высококучевых башенковидных* облаков (*Alto-cumulus castellanus*). На протяженной общей базе развиваются кучевообразные выросты разных размеров.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.31. Отдельные *высококучевые хлопьевидные* облака (*Alto-cumulus floccus*) неупорядоченно разбросаны по небу и имеют различные размеры и форму. Местами облака имеют признаки вертикального развития.

2.7. Высокослоистые облака (Altostratus, As)

Высота нижней границы	2–6 км
Толщина слоя	От нескольких сотен метров до нескольких километров
Структура	Смешанная или кристаллическая, редко капельная
Осадки	Зимой — снег, летом осадки редко достигают поверхности Земли
Прозрачность	Солнце и луна просвечивают как сквозь матовое стекло
Оптические явления	На As trans. наблюдаются венцы

Высокослоистые облака (Altostratus, As) представляют собой серый или желтовато-серый слой, сплошной или разделенный просветами. Иногда на нижней поверхности слоя хорошо различимы волны в виде чередования полос разных оттенков серого цвета. На закате или восходе солнца высокослоистые облака могут приобретать бурую окраску.

Сквозь тонкий слой As солнце просвечивает слабо и напоминает пятно с размытыми краями. При этом тени от предметов на поверхности Земли нерезкие или совсем отсутствуют. Если слой высокослоистых облаков достаточно мощный, то он полностью скрывает солнце и не позволяет определить его местоположение. Вокруг солнца и луны в тонких высокослоистых облаках изредка могут наблюдаться венцы, другие оптические явления отсутствуют.

Основная причина образования высокослоистых облаков — медленный подъем относительно влажного и теплого воздуха в зонах атмосферных фронтов.

Высокослоистые облака обычно состоят из переохлажденных капель (радиус 4—5 мкм) и ледяных кристаллов (в форме столбиков или толстых пластинок) или снежинок. При этом капли и кристаллы могут находиться как в смеси, так и отдельно (в верхней части облака — кристаллы, в нижней — капли или снежинки). Зимой высокослоистые облака могут быть полностью кристаллическими, летом в отдельных случаях — только капельными.

Выпадающие из облаков As осадки летом чаще всего не достигают поверхности Земли и хорошо различимы в виде полос падения. При испарении выпадающих осадков под слоем As могут образоваться слоистые разорванные (Stratus fractus, St fr.) или кучевые разорванные (Cumulus fractus, Cu fr.) облака (плохой погоды). Весной и осенью осадки из As достигают поверхности Земли в виде слабой мороси. Зимой, особенно при низкой температуре воздуха, может выпадать снег, иногда достаточно интенсивный.

В умеренных широтах высокослоистые облака образуются на высотах 2—6 км. Толщина слоя As колеблется от нескольких сотен метров до нескольких километров. Длина слоя высокослоистых облаков вдоль линии фронта может составлять сотни, а иногда и тысячи километров, ширина — в среднем 200—300 км. По мере удаления от центра циклона толщина As уменьшается.

Наиболее часто высокослоистые облака являются частью обширной фронтальной облачной системы, состоящей из перисто-слоистых (Cs), высокослоистых (As) и слоисто-дождевых облаков (Nimbostratus, Ns).

При приближении теплого фронта и фронтов окклюзии высокослоистые облака появляются вслед за перисто-слоистыми, затягивая все небо и сменяясь затем слоисто-дождевыми облаками. Слой As может быть не сплошным, а состоять из отдельных параллельных или сходящихся в одной точке полос, между которыми видны более высокие Cs. На разрушающемся теплом фронте в облачной системе Cs—As—Ns могут появляться значительные безоблачные прослойки. Вместе с высокослоистыми облаками наблюдаются высококучевые облака, в целом не типичные для теплого фронта.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.32. В серо-желтом слое *высокослоистых просвечивающих волнистых радиальных облаков* (Altostratus translucidus undulatus radiatus) хорошо различимы радиальные темные волны. Под слоем As видны отдельные кучевые разорванные облака (Cumulus fractus).

Рис. 2.33. Просвечивающее сквозь слой *высокослоистых просвечивающих облаков* (*Altostratus translucidus*) солнце имеет характерный для As вид пятна с размытыми краями. Темные клочья под облаками указывают на выпадение осадков, не достигающих поверхности Земли.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.34. Под плотным слоем *высокослоистых непросвечивающих облаков* (*Altostratus opacus*) видны темные клочья слоистых разорванных облаков (*Stratus fractus*, *St fr.*).



ФОТО А. АНДРЕЕВА

В облачной системе холодного фронта I рода высокослоистые облака следуют за слоисто-дождевыми, постепенно становятся более тонкими и сменяются перисто-слоистыми облаками. Переход от Ns к As обычно сопровождается ослаблением и затем прекращением осадков. При этом темно-серый цвет облаков сменяется более светлым, освещенность земной поверхности увеличивается. В облачных системах фронтов окклюзии высокослоистые облака часто появляются в сочетании с высококучевыми.

Повторяемость высокослоистых облаков наиболее высока в районах с повышенной циклонической активностью и в зонах климатических фронтов. Зимой As наблюдаются чаще, чем летом.

Согласно классификации ВМО виды высокослоистых облаков не различаются. Выделяется пять разновидностей As.

1. *Высокослоистые просвечивающие* (*Altostratus translucidus*, As trans.) (рис. 2.32, 2.33). Слой облаков, сквозь который просвечивает солнце в виде туманного пятна.

Облака As trans. имеют более серый цвет, чем Cs, они заметно плотнее и ниже. Тени наземных предметов практически отсутствуют. Высокослоистые просвечивающие облака иногда наблюдаются одновре-

менно с различными формами высококучевых облаков, однако в отличие от них однородны и не делятся на отдельные элементы.

2. *Высокослоистые непросвечивающие* (Altostratus opacus, As op.) (рис. 2.34). Плотные серые облака, сквозь которые солнце не просвечивает и определить его местоположение невозможно.

В облачной системе As—Ns высокослоистые и слоисто-дождевые облака могут наблюдаться одновременно, при этом As заметно светлее и выше, чем Ns. Высокослоистые непросвечивающие облака сходны по виду со слоистыми облаками (Stratus, St),

однако нижняя граница As выражена гораздо четче, чем у St.

3. *Высокослоистые двойные* (Altostratus duplicatus, As du.). Два слоя высокослоистых облаков на разных уровнях.

4. *Высокослоистые волнистые* (Altostratus undulatus, As und.) (см. рис. 2.32, рис. 2.35). Облака, на нижней поверхности которых просматривается чередование более темных и более светлых волн, либо облака в виде полос, разделенных просветами.

5. *Высокослоистые радиальные* (Altostratus radiatus, As rad.) (см. рис. 2.32). Волны высокослоистых облаков визуальнo сходятся в одной точке.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.35. Часть облачной системы теплого фронта. *Высокослоистые волнистые облака* (Altostratus undulatus) с ярко выраженной волнистой структурой и тонкие перисто-слоистые нитевидные облака (Cs fib.), сквозь которые просвечивает небо, визуальнo сливаются в единый слой. Внизу видны кучевые разорванные облака (Cu fr.).

2.8. Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns)

Высота нижней границы	0,1–1 км
Толщина слоя	До нескольких километров
Структура	Капельная, смешанная или кристаллическая
Осадки	Обложной дождь или снег
Прозрачность	Солнце и луна не просвечивают
Оптические явления	Отсутствуют

Темно-серая плотная масса, закрывающая все небо, разорванные темные клочья под ней, обложной дождь или снег в зависимости от времени года — вот обычная картина слоисто-дождевых облаков (Nimbostratus, Ns) (рис. 2.36). Слоисто-дождевые облака плотные, определить положение солнца и луны невозможно, оптические явления отсутствуют.

Слоисто-дождевые облака образуются на фронтах при подъеме теплой воздушной массы вдоль фронтальной поверхности. При этом движении, называемом восходящим скольжением, воздушная масса адиабатически охлаждается, в ней происходит конденсация водяного пара. В результате вдоль линии фронтов образуются мощные облачные слои толщиной до 6—8 км и шириной до нескольких сотен километров. Облака Ns могут простираться вдоль линии фронта на многие сотни, а иногда и тысячи километров.

Структура слоисто-дождевых облаков чаще всего смешанная и зависит от толщи-

ны облачного слоя и времени года. В теплое время года нижняя часть Ns обычно состоит из капель. При отрицательной приземной температуре нижняя часть облаков состоит из кристаллов льда и снежинок либо имеет смешанную структуру.

Высота основания слоисто-дождевых облаков обычно составляет от 100 м до километра, но определить ее бывает довольно сложно. Под основанием слоисто-дождевых облаков часто наблюдаются разорванные слоистые облака (Stratus fractus, St fr.) причиной образования которых является так называемый невыпавший дождь, т. е. сконденсированная влага испарившихся осадков.

Интенсивные обложные осадки, выпадающие из слоисто-дождевых облаков, могут ограничивать видимость — как горизонтальную, так и вертикальную. В этом случае нижняя граница облачности может быть трудноразличима, что также затрудняет определение ее высоты.

Как правило, распознать *Ns* несложно — по обложным осадкам, выпадающим из них. Иногда, как в случае приближения теплого фронта, наблюдая за изменением облачности (*Ci unc.*—*Cs*—*As*), предугадать появление *Ns* можно и не глядя на синоптическую карту. Однако такая классическая картина в реальности встречается не всегда. Часто изменение вида облаков при приближении фронта скрыто облачностью предшествующей воздушной массы. В этом случае появление *Ns* иногда удается распознать лишь по неожиданно начавшимся осадкам.

Следует учесть, что в облачных системах холодных фронтов, фронтов окклюзии, а летом и теплого фронта, наряду с облаками *Ns*, образуются кучево-дождевые облака (*Cumulonimbus*, *Cb*). Визуально бывает сложно отличить *Cb* от *Ns*, особенно если нижняя граница облачности размыта вследствие выпадения осадков. В этом случае следует обращать внимание на сопутствующие *Cb* явления погоды, такие как ливневые осадки, град, гроза, шквалистое усиление ветра.

В международной классификации облаков виды и разновидности *Ns* не определяются.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.36. Небо закрыто *слоисто-дождевым* облаком (*Nimbostratus*), из которого выпадают осадки в виде дождя, особенно заметные в свете фонаря. Под слоем *Ns* видны темные клочья слоистых разорванных облаков (*Stratus fractus*, *St fr.*), образовавшихся вследствие испарения части осадков.

2.9. Слоистые облака (Stratus, St)

Высота нижней границы	0,1–0,8 км
Толщина слоя	0,2–0,8 км
Структура	Капельная или смешанная
Осадки	Морсящие
Прозрачность	В тонких слоях просвечивают солнце и луна
Оптические явления	Венцы в тонких слоях

Слоистые облака (Stratus, St) обычно представляют собой низкий плотный слой серого или желтовато-серого цвета, однородный или со слабо волнистой структурой, выраженной в чередовании темных и светлых полос. Нижняя поверхность облачного слоя часто имеет неровный клочкообразный вид.

В тонких слоистых облаках иногда можно наблюдать венцы вокруг солнца или луны, другие оптические явления отсутствуют. Ночью низкий слой St может отражать яркие огни наземных источников света — городов, транспортных магистралей и т. п. В этом случае на нижней границе слоя проявляются светлые пятна и полосы.

Образование слоистых облаков происходит вследствие нескольких причин.

Первой причиной является турбулентное перемешивание под слоем инверсии. Водяной пар переносится турбулентными потоками от земной поверхности вверх и задерживается слоем инверсии. Это приводит

к его охлаждению, накоплению и конденсации. В подынверсионном слое развиваются и волновые движения, которые также оказывают влияние на образование St. Волнистая структура верхней границы слоистых облаков хорошо различима при наблюдениях с самолета. Обычно слой таких слоистых облаков плотный, солнце просвечивает лишь через тонкие края слоя и выглядит как неяркий ровно очерченный круг.

Второй причиной образования слоистых облаков служит охлаждение нижнего слоя воздуха, приводящее к конденсации водяного пара. Такое охлаждение происходит, например, ночью (радиационное выхолаживание) или при движении теплого воздуха над холодной подстилающей поверхностью. В этом случае слоистые облака представляют собой туман, приподнятый над поверхностью Земли. Слой таких облаков часто бывает довольно тонким, и солнце просвечивает сквозь него в виде светлого размытого пятна.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 2.37. Однородный серый слой слоистых туманообразных облаков (*Stratus nebulosus*). В правой части снимка различимы слабые волны.

Подобно туманам, образование таких облаков в основном носит локальный характер. Так, протяженные поля низких слоистых облаков образуются зимой над теплыми водоемами или теплыми течениями в открытом море. К их образованию приводит испарение с поверхности воды и конденсация водяного пара в более холодной воздушной массе над водной поверхностью.

Третьей причиной образования *St* служит дополнительное увлажнение воздуха осадками. Под облаками, из которых выпадают осадки, образуются клочья слоистых разорванных облаков (*Stratus fractus*, *St fr.*).

Слоистые облака состоят из капель воды радиусом 2—5 мкм, при низкой тем-

пературе — переохлажденных. При очень низкой температуре в слоистых облаках могут присутствовать ледяные кристаллы в виде тонких пластинок или игл и снежинки.

Высота нижней границы слоистых облаков в умеренных широтах составляет в среднем от 100 до 800 м, но иногда слоистые туманообразные облака могут располагаться и значительно ниже, закрывая верхние части высоких наземных предметов (зданий, деревьев) и значительно ухудшая видимость. Толщина слоя этих облаков невелика — она колеблется от 200 до 800 м, горизонтальная протяженность может составлять тысячи километров.

Рис. 2.38. Однородный слой слоистых туманообразных облаков (*Stratus nebulosus*) над Санкт-Петербургом. Облака закрывают верхнюю часть купола Исаакиевского собора (высота собора 103,5 м).



ФОТО О. АНДРЕЕВА

Рис. 2.39. Слоистые разорванные облака (*Stratus fractus*) под слоем высоко-слоистых облаков (*As*). Облака расположены значительно ниже *As*, имеют более темный цвет и разорванные края.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Осадки из слоистых облаков в теплое время года выпадают в виде мороси, а в холодное — в виде мелких снежных зерен. Морозящие осадки заметно ухудшают видимость.

Слоистые облака с морозящими осадками характерны для устойчивых воздушных масс. Это облака теплых секторов циклонов и примыкающих к ним северных окраин антициклонов.

Повторяемость слоистых облаков сравнительно невелика; зимой она значительно выше, чем летом. Наибольшая повторяемость *St* отмечается в районах с влажным неустойчивым климатом (например, на Дальнем Востоке), наименьшая — в районах с сухим климатом (например, в Средней Азии).

Согласно классификации ВМО выделяются два вида слоистых облаков.

1. *Слоистые туманообразные* (*Stratus nebulosus*, *St neb.*) (рис. 2.37, 2.38). Однородный слой облаков серого цвета без отдельных различимых деталей.

2. *Слоистые разорванные* (*Stratus fractus*, *St fr.*) (рис. 2.39). Быстро меняющие свои очертания облака, имеющие вид темных низких клочьев с разорванными краями.

Эти облака обычно встречаются в сочетании с облаками, из которых выпадают осадки (Ns, As, Cb), но расположены ниже их и отличаются более темным цветом и лохматыми разорванными краями. Иногда St fr. сливаются в единый слой, маскируя нижнюю границу вышележащего облака.

Выделяются три разновидности слоистых облаков.

1. *Слоистые непросвечивающие* (Stratus opacus, St op.). Однородный слой облаков серого или желтовато-серого цвета полностью закрывает небо, солнце через него не просвечивает.

2. *Слоистые просвечивающие* (Stratus translucidus, St trans.). Слой облаков небольшой плотности, сквозь который тускло просвечивает солнце.

3. *Слоистые волнистые* (Stratus undulatus, St und.) (рис. 2.40). Серый слой облаков, на нижней поверхности которых прослеживаются слабо выраженные волны в виде чередования темных и светлых полос.

От слоисто-кучевых (Stratocumulus, Sc) облаков слоистые облака отличаются менее выраженной волнистой структурой и отсутствием рельефа нижней поверхности.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.40. Волны на нижней поверхности *слоистых волнистых облаков* (Stratus undulatus) в ночное время заметны вследствие подсветки наземными огнями.

2.10. Слоисто-кучевые облака (Stratocumulus, Sc)

Высота нижней границы	0,6 – 2,0 км
Толщина слоя	0,1–0,8 км
Структура	Капельная или смешанная
Осадки	Как правило, не выпадают; иногда наблюдаются следы падения осадков
Прозрачность	В тонких слоях просвечивают солнце и луна
Оптические явления	Венцы в тонких слоях

Слоисто-кучевые облака (Stratocumulus, Sc) имеют характерный для волнистообразных облаков вид — они состоят из отдельных пластин, гряд или валов, разделенных просветами или слившихся в единый слой. Поскольку Sc образуются в нижнем ярусе, при наблюдении с земли их элементы выглядят гораздо более крупными, чем элементы вышележащих облаков среднего и верхнего ярусов.

В окраске слоисто-кучевых облаков преобладают всевозможные оттенки серого цвета — от почти белого до темно-серого с синеватым отливом; вечером, при заходе солнца, Sc окрашиваются в желтые или багровые тона. Ночью слоисто-кучевые облака обычно светлее темного неба. На низких Sc может наблюдаться подсветка наземными огнями.

Особенностью слоисто-кучевых облаков является отсутствие правильной формы. Элементы Sc в слое редко бывают похожими по очертаниям и размерам, часто имеют разорванные края.

Нижняя поверхность слоисто-кучевых облаков обычно хорошо различима и имеет ярко выраженный рельеф, иногда на ней наблюдаются вымеобразные выступы (mamma).

Плотность слоисто-кучевых облаков различна в разных их частях: сквозь тонкие рваные края может просвечивать солнце или луна, а плотные участки полностью скрывают солнце, так что определить его местоположение невозможно. В тонких слоисто-кучевых облаках можно изредка наблюдать венцы вокруг солнца или луны. Другие оптические явления отсутствуют.

Основной причиной образования слоисто-кучевых облаков является процесс турбулентного перемешивания воздуха в нижнем слое атмосферы при достаточно сильном ветре. Водяной пар, поднимающийся от земной поверхности, задерживается под слоем инверсии, где происходит его накопление и конденсация вследствие адиабатического понижения температуры.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 2.41. Вечером, при ослаблении конвекции, развитие кучевого облака (Cu) прекращается, Cu растекается под слоем инверсии, образуя слоисто-кучевое облако (Stratocumulus). Поскольку связь Sc и Cu очевидна (они составляют единое целое), облако следует идентифицировать как слоисто-кучевое, образовавшееся из кучевого (Stratocumulus cumulogenitus).

Именно под инверсией и образуются слоисто-кучевые облака. В подынверсионном слое также происходят волновые и конвективные процессы, с которыми связано образование отдельных валов и волн на поверхности Sc.

Слоисто-кучевые облака могут образовываться при трансформации облаков вертикального развития. Вечером, при ослаблении конвекции, кучевые (Cumulus, Cu) или кучево-дождевые (Cumulonimbus, Cb) облака разрушаются и растекаются под инверсией, образуя протяженный слой слоисто-кучевых облаков (рис. 2.41). В дневные часы

развитие кучевых облаков также может затормозиться под слоем инверсии, и при растекании Cu образуется слой слоисто-кучевых облаков.

В основном слоисто-кучевые облака состоят из водяных капель радиусом около 5 мкм, реже бывают смешанными, при очень низкой температуре — кристаллическими.

В умеренных широтах слоисто-кучевые облака образуются на высотах от 600 м до 1,5—2 км. Они достаточно тонкие (их толщина составляет от 100 до 800 м). Слой Sc, чередуясь со St, может простирается на сотни, а иногда и на тысячи километров.

Осадки из Sc выпадают очень редко — в теплое время года в виде мороси, в холодное в виде слабого снега. Иногда под слоисто-кучевыми облаками можно наблюдать следы выпадения осадков, не достигающих поверхности Земли.

Повторяемость слоисто-кучевых облаков повсеместно достаточно велика, она выше в районах с влажным неустойчивым климатом и ниже в районах с сухим климатом. Летом Sc наблюдаются чаще, чем зимой.

Слоисто-кучевые облака не являются типичными для фронтальных облачных систем, они характерны для устойчивых воз-

душных масс (например, для теплых секторов циклонов или длительно существующих зимних антициклонов). Часто Sc отмечают за холодным фронтом в виде протяженных полос, ориентированных по ветру.

Согласно классификации ВМО выделяются три вида слоисто-кучевых облаков.

1. *Слоисто-кучевые слоистообразные* (*Stratocumulus stratiformis*, Sc str.) (рис. 2.42—2.47). Облака образуют слой, закрывающий все небо или большую его часть. Элементы слоя могут быть разделены просветами или слиты между собой. Иногда слоисто-кучевые облака располагаются грядами, между

Рис. 2.42. Слой слоисто-кучевых слоистообразных просвечивающих облаков (*Stratocumulus stratiformis translucidus*) состоит из крупных элементов с темно-серым основанием и разорванными краями. Между отдельными элементами видны значительные просветы.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



которыми наблюдаются просветы. В этом случае отличить Sc от кучевых облаков (Cu) можно по значительной протяженности этих гряд. Верхняя поверхность Sc str. в отличие от Cu имеет сглаженный вид, признаки вертикального развития отсутствуют.

Часто слоисто-кучевые облака наблюдаются одновременно с высококучевыми (Ac). В отличие от Ac str. облака Sc str. имеют значительно большие размеры отдельных элементов и более темный цвет, располагаются заметно ниже.

Слоисто-кучевые облака иногда бывают схожи со слоистыми волнистыми (St und.). Отличием является выраженный рельеф нижней поверхности слоя Sc, подчеркнутый тенями.

При прохождении теплого фронта плотный слой слоисто-кучевых облаков может следовать непосредственно за слоисто-дождевым облаком (Ns), но при этом обычно прекращается выпадение осадков.

2. *Слоисто-кучевые чечевицеобразные* (Stratocumulus lenticularis, Sc lent.). Представляют собой отдельные вытянутые плоские облака овальной формы. Чаще всего слоисто-кучевые чечевицеобразные облака можно наблюдать в горных районах, где они образуются у подветренных склонов возвышенностей и гор (орографические облака).



ФОТО Е. ГОЛОВИНОЙ

Рис. 2.43. Плотные слоисто-кучевые слоистообразные непросвечивающие волнистые облака (Stratocumulus stratiformis opacus undulatus) имеют хорошо заметную волнистую структуру и четко выраженную границу облачного слоя.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.44. Темно-серый слой слоисто-кучевых слоистообразных непросвечивающих волнистых облаков (Stratocumulus stratiformis opacus undulatus). Нижняя поверхность слоя имеет вид параллельных валов.

Рис. 2.45. Два слоя облаков расположены один над другим— *слоисто-кучевые слоистообразные непросвечивающие двойные* (Stratocumulus stratiformis opacus duplicatus).



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.46. Темно-серые *слоисто-кучевые слоистообразные волнистые облака* (Stratocumulus stratiformis undulatus) в виде параллельных валов. Видны полосы падения осадков (virga), не достигающих поверхности Земли.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

В отличие от высококучевых чечевицеобразных облаков слоисто-кучевые чечевицеобразные облака обычно имеют серый или темно-серый цвет и располагаются значительно ниже.

3. *Слоисто-кучевые башенковидные* (Stratocumulus castellanus, Sc cast.) (рис. 2.48). Облака с общим основанием, из которого поднимаются вверх отдельные кучевообразные выступы. Наличие слоисто-кучевых башенковидных облаков свидетельствует о развитии конвекции, и в теплое время года они могут служить предвестником грозы. При благоприятных условиях из Sc cast. могут развиваться кучевые мощные облака (Cumulus congestus, Cu cong.).

Слоисто-кучевые башенковидные облака своими кучевообразными вершинами похожи на кучевые облака (Cu), но из одной общей базы Sc cast. выступают обычно несколько вершин, разделенных просветами.

Выделяется семь разновидностей слоисто-кучевых облаков.

1. *Слоисто-кучевые просвечивающие* (Stratocumulus translucidus, Sc trans.) (см. рис. 2.42). Облака имеют просветы между элементами, сквозь них или сквозь тонкие края облаков можно определить положение солнца.

2. *Слоисто-кучевые с просветами* (*Stratocumulus perlucidus*, Sc per.). Слой облаков имеет просветы между элементами, через которые видно голубое небо или вышележащие облака.

3. *Слоисто-кучевые непросвечивающие* (*Stratocumulus opacus*, Sc op.) (см. рис. 2.43—2.45). Отдельные элементы облаков слиты между собой и не имеют просветов. Солнце полностью скрыто облаками. На нижней поверхности Sc op. различимы отдельные элементы.

4. *Слоисто-кучевые двойные* (*Stratocumulus duplicatus*, Sc du.) (см. рис. 2.45). Два или несколько слоев облаков расположены на близлежащих уровнях.

5. *Слоисто-кучевые волнистые* (*Stratocumulus undulatus*, Sc und.) (см. рис. 2.43, 2.44, 2.46). Нижняя поверхность облаков имеет волнистую структуру в виде параллельных гряд и валов.

6. *Слоисто-кучевые радиальные* (*Stratocumulus radiatus*, Sc rad.). Облака располагаются на небе упорядоченными грядами, которые кажутся слившимися у горизонта в одной точке.

7. *Слоисто-кучевые дырявые* (*Stratocumulus lacunosus*, Sc lac.). Слой облаков имеет сквозные округлые просветы с рваными краями.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.47. Гряды слоисто-кучевых слоистообразных облаков (*Stratocumulus stratiformis*), подсвеченные огнями Санкт-Петербурга, хорошо различимы на ночном небе.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.48. Восходящие движения воздуха вызвали разрушение слоя подынверсионной слоисто-кучевой облачности и образование развивающихся в высоту башенок на общей базе с четко очерченной нижней границей. Облака распознаются как слоисто-кучевые башенковидные (*Stratocumulus castellanus*). Характерный предгрозовый вид неба.

2.11. Кучевые облака (Cumulus, Cu)

Высота нижней границы	0,5–2,0 км
Толщина слоя	От сотен метров до нескольких километров
Структура	Капельная
Осадки	Отдельные капли или кратковремен- ный дождь
Прозрачность	Солнце просвечивает через края облаков
Оптические явления	Венцы на тонких краях, иризация, иззаоблачное сияние

Кучевые облака (Cumulus, Cu) представляют собой отдельные облака с четкими очертаниями и характерной вершиной в виде бугристой башни. Основание облака обычно имеет серый или синеватый цвет, вершины чаще всего ярко-белые, неровности подчеркнуты тенями. Вершины могут быть плоскими или выпуклыми, клубящимися, постоянно меняющими свой вид.

Обычно кучевые облака беспорядочно разбросаны по небу, реже могут иметь упорядоченный вид — располагаться в виде рядов (так называемые облачные улицы). Могут отмечаться как отдельные облака, удаленные на большие расстояния друг от друга, так и скопления облаков в разной степени развития. При этом основания облаков, наблюдаемых одновременно, располагаются на одном уровне.

Кучевые облака не образуют непрерывного слоя, между ними всегда есть просветы. Если облака располагаются вблизи горизонта, то они видны полностью — от

основания до вершины, и определить их форму несложно.

Развитые по вертикали кучевые облака обычно скрывают солнце. Оно просвечивает только сквозь тонкие края облаков или небольшие разорванные облака. Иногда над мощными кучевыми облаками, скрывающими солнечный диск, можно наблюдать явление иззаоблачного сияния — расходящиеся в виде веера чередующиеся светлые и темные полосы. Объясняется это явление тем, что солнечные лучи проникают в разрывы между облаками, и темные полосы представляют собой тени от облаков. На тонких краях кучевых облаков можно наблюдать явление иризации, иногда — венцы.

Кучевые облака — это облака вертикального развития. Причиной их возникновения являются мощные восходящие движения воздуха (конвекция). При подъеме воздух адиабатически охлаждается, происходит конденсация водяного пара, образуются кучевые облака. Форма облака и его верти-



Рис. 2.49. Гряды *кучевых плоских облаков* (*Cumulus humilis*) со сглаженными вершинами без признаков вертикального развития — облака хорошей погоды.

кальная протяженность зависят от интенсивности конвекции.

Развитие кучевых облаков обычно начинается в утренние часы в результате нагрева подстилающей поверхности солнечными лучами. Над более нагретыми участками поверхности образуются восходящие движения воздуха, над менее нагретыми — нисходящие. Развивающиеся восходящие движения приводят к появлению небольших кучевых плоских (рис. 2.49, 2.50) или разорванных (рис. 2.51) облаков,

количество которых постепенно увеличивается. Дальнейшее развитие облачности зависит от стратификации атмосферы. Если в атмосфере имеется достаточное количество водяного пара и отсутствуют задерживающие слои, облака интенсивно развиваются в высоту — образуются кучевые средние (рис. 2.52, см. также рис. 2.56) и мощные (рис. 2.53—2.55) облака. Одновременно на небосводе можно наблюдать кучевые облака разной степени развития. Иногда кучевые мощные облака сливают-

Рис. 2.50. На снимке, сделанном около полудня, представлено поле *кучевых плоских облаков* (*Cumulus humilis*). Основания облаков четко очерчены, вершины слегка клубятся, что свидетельствует об их дальнейшем развитии.

ФОТО О. АНДРЕЕВА



Рис. 2.51. Отдельные *кучевые разорванные облака* (*Cumulus fractus*) появляются утром и могут стать первой фазой развития конвективных облаков.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



ся, образуя облако с несколькими растущими вершинами.

Вследствие того что вершины кучевых мощных облаков располагаются на большой высоте, капли в них начинают замерзать — образуется кучево-дождевое облако. При этом вершина облака сглаживается, перестает клубиться, в ней появляется волокнистая структура. Если в атмосфере существует слой инверсии, то, достигнув его, кучевые облака прекращают свое развитие и растекаются под этим слоем, трансформируясь в высококучевые (из кучевых средних или мощных) или слоисто-кучевые (из кучевых плоских) облака.

В летнее время в антициклонах при устойчивой погоде плоские кучевые облака,

образовавшиеся утром, достигают максимума развития к полудню, а затем постепенно разрушаются и исчезают. Эти облака называют облаками хорошей погоды.

Нижняя граница кучевых облаков в умеренных широтах располагается преимущественно на высоте 0,5—2,0 км. При этом высота основания минимальна в утренние часы и достигает максимума в 16—18 ч местного времени. Вертикальная протяженность кучевых облаков составляет от сотен метров до нескольких километров. Горизонтальные размеры облаков сильно зависят от степени их

развития: чем больше развито облако по вертикали, тем большую площадь имеет его основание. Горизонтальная протяженность разорванных и плоских кучевых облаков составляют десятки или сотни метров, а мощных кучевых — до нескольких километров.

Кучевые облака состоят из водяных капель, при отрицательных температурах переохлажденных. Размеры капель в разных частях облака различны: более крупные капли (радиусом около 10 мкм) сосредоточены главным образом в верхней части облака, более мелкие (около 6 мкм) — в основании.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.52. Кучевые средние облака (*Cumulus mediocris*) с темным основанием и белоснежной вершиной в виде отдельных бугорков и башенок, растущих вверх.

Рис. 2.53. Типичная картина внутримассовой конвективной облачности в дневные часы в теплое время года — *кучевые мощные облака* (*Cumulus congestus*) наблюдаются одновременно с кучевыми средними и кучевыми разорванными облаками.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.54. Два *кучевых мощных облака* (*Cumulus congestus*). Основания облаков значительно темнее их вершин. Облака находятся в процессе развития — об этом свидетельствуют многочисленные клубящиеся выпуклости на вершинах.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

В умеренных широтах осадки выпадают только из мощных кучевых облаков и имеют вид отдельных капель или кратковременного дождя. Ливневые осадки большой интенсивности из кучевых облаков наблюдаются только в тропических широтах.

Кучевые облака характерны для неустойчивых воздушных масс. Чаще всего это внутримассовые облака, образование и развитие которых сильно зависит от местных условий. Повторяемость внутримассовых кучевых облаков над сушей имеет сильно выраженный суточный и годовой ход: облака наиболее развиты днем и исчезают ночью, чаще всего наблюдаются летом, а зимой встречаются редко или отсутствуют. Над морем, особенно в прибрежных районах, конвекция может усиливаться ночью, приводя к образованию ночных *Cu*.

В летнее время в дневные часы *Cu* развиваются перед теплым фронтом. На холодном фронте они могут наблюдаться одновременно с кучево-дождевыми облаками.

Разорванные кучевые облака (облака плохой погоды) образуются под кучево-дождевыми облаками, из которых выпадают осадки, и часто наблюдаются одновременно со слоистыми разорванными облаками.

Согласно классификации ВМО выделяется четыре вида кучевых облаков.

1. *Кучевые разорванные* (Cumulus fractus, Cu fr.) (см. рис. 2.51, 2.53). Небольшие облака с разорванными краями, быстро меняющие свои очертания.

2. *Кучевые плоские* (Cumulus humilis, Cu hum.) (см. рис. 2.50, 2.54). Облака имеют небольшое вертикальное развитие, их высота гораздо меньше горизонтальных размеров. Вершины облаков плоские.

3. *Кучевые средние* (Cumulus mediocris, Cu med.) (см. рис. 2.52, 2.56). Облака с умеренным развитием, вертикальные размеры которых близки к горизонтальным. Их вершины обычно клубятся и меняют свои очертания.

4. *Кучевые мощные* (Cumulus congestus, Cu cong.) (см. рис. 2.53—2.55). Облака со значительным вертикальным развитием — их высота в 1,5—2 раза превышает длину основания. Часто Cu cong. представляют собой нагромождение ослепительно-белых клубящихся и растущих в высоту башен.

Выделяют только одну разновидность кучевых облаков — *кучевые радиальные облака* (Cumulus radiatus, Cu rad.) (см. рис. 2.56). Чаще всего это определение применимо к кучевым средним облакам, если они располагаются параллельными грядами, визуальнo сходящимися в одной точке.

Кроме того, кучевые облака могут иметь дополнительные особенности — полосы падения и пр.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.55. Кучевое мощное облако (Cumulus congestus) со следами выпадающих из него осадков.



ФОТО Е. ГОЛОВИНОЙ

Рис. 2.56. Кучевые средние радиальные облака (Cumulus mediocris radiatus) расположены упорядоченно — параллельными грядами, сходящимися к горизонту (так называемые облачные улицы). В просветах видны Ac trans.

2.12. Кучево-дождевые облака (Cumulonimbus, Cb)

Высота нижней границы	0,5–1,5 км
Толщина слоя	До нескольких километров
Структура	В нижней части капельная, в верхней — смешанная и кристаллическая
Осадки	Ливневой дождь, град, крупа
Прозрачность	Солнце не просвечивает
Оптические явления	Радуга на фоне осадков

Кучево-дождевые облака представляют собой плотные сильно развитые в высоту кучевообразные облака. Они являются самыми мощными облаками вертикального развития. Основание облаков обычно темное, почти черное; освещенные солнцем вершины ярко-белого цвета с резкими тенями. Облако, закрывающее солнце, выглядит темно-серым или сине-серым. Вершины облаков часто плоские, имеют сглаженный вид или волокнистое строение, иногда приобретают характерную форму наковальни. Можно наблюдать отдельные кучево-дождевые облака вместе с кучевыми облаками разной степени развития.

С кучево-дождевыми облаками связаны опасные явления погоды — грозы, ливни, град. Приближение Cb нередко сопровождается шквалистым ветром. Под основанием облака на фоне выпадающих осадков быстро движутся низкие темные слоистые разорванные и кучевые разорванные облака (рис. 2.57).

Закрывающие все небо кучево-дождевые облака полностью скрывают солнце и сильно уменьшают освещенность наземных предметов. Если кучево-дождевое облако находится в стороне, противоположной солнцу, то на фоне выпадающих осадков нередко наблюдается радуга.

Причиной образования кучево-дождевых облаков являются мощные восходящие потоки воздуха (конвекция). Поднимающийся от земной поверхности воздух адиабатически охлаждается, что приводит к конденсации водяного пара. Облака Cb характерны для неустойчивых воздушных масс. Они бывают как внутримассовыми, так и фронтальными.

Внутримассовые кучево-дождевые облака образуются под действием термической конвекции внутри однородной воздушной массы и являются последней стадией дневного развития конвективной облачности. Такие облака хаотично разбросаны по всей площади, охваченной конвекцией.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.57. Кучево-дождевое волосатое облако (*Cumulonimbus capillatus*). Отчетливо видна волокнистая структура вершины облака. Под темным основанием — клочья кучевых разорванных облаков (*Cu fr.*). Прохождение облака сопровождается интенсивным ливнем — об этом свидетельствуют полосы выпадения осадков.

Фронтальные Сб образуют облачный вал, имеющий протяженное единое основание и несколько развитых вершин. В их образование, наряду с термической конвекцией, вносит свой вклад вынужденная конвекция на фронтальных разделах.

Кучевые мощные облака в процессе вертикального развития достигают уровня,

на котором водяные капли начинают замерзать. Облако, в котором появились ледяные кристаллы, становится кучево-дождевым.

Оледенение вершины облака приводит к изменению ее внешнего вида — она постепенно приобретает перистую волокнистую структуру и ярко-белый цвет. Под действием ветра волокна могут веерообразно рас-

пространяться по небу. Если облако в процессе вертикального развития достигает слоя инверсии, его вершина растекается под этим слоем, принимая форму перевернутой трапеции — наковальни. После разрушения кучево-дождевого облака остатки его наковальни существуют как самостоятельные облака — перистые плотные (Ci sp.).

Кучево-дождевые облака состоят из водяных капель (при низких температурах переохлажденных) и ледяных кристаллов. Нижняя часть облака в теплое время года капельная, а в холодное время года наряду с каплями может содержать снежинки; верх-

няя часть облака кристаллическая или смешанная. При очень низкой температуре воздуха кучево-дождевые облака могут состоять только из кристаллов. Осадки, выпадающие из кучево-дождевых облаков, имеют ливневый характер (см. рис. 2.57, рис. 2.58). Они интенсивны и непродолжительны. В теплое время года выпадает дождь или град, в холодное — ледяная или снежная крупа, снег в виде хлопьев или снег с дождем.

Высота нижней границы кучево-дождевых облаков в умеренных широтах составляет 0,5—1,5 км; она максимальна летом и минимальна в холодное время года.

Рис. 2.58. Быстро перемещающееся *кучево-дождевое облако* (Cumulonimbus) с темной неровной нижней поверхностью и более темным дугообразным валом (arcus) впереди облака. Прохождение облака сопровождается ливневыми осадками.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Мощность Сб достигает нескольких километров, их основание располагается на уровне облаков нижнего яруса, вершина — на высоте облаков верхнего яруса. В тропических широтах сильно развитые кучево-дождевые облака пронизывают всю тропосферу и поднимаются выше тропопаузы, достигая высоты 16—20 км. Горизонтальная протяженность Сб сильно зависит от степени их вертикального развития и составляет от нескольких километров до нескольких десятков километров.

Повторяемость внутримассовых кучево-дождевых облаков над континентальной частью России очень мала зимой, значительно возрастает весной и достигает максимума в середине лета. Развитие облаков имеет ярко выраженный суточный ход: они формируются к середине дня, к вечеру их развитие прекращается, и облака растекаются, трансформируясь в другие виды облаков (например, в высококучевые (Ac) или слоисто-кучевые (Sc)). Ночью кучево-дождевые облака над сушей не образуются. Над морями кучево-дождевые облака в холодных воздушных массах нередко наблюдаются и в зимнее время, причем могут образовываться как днем, так и ночью.

Фронтальные кучево-дождевые облака находятся в передней части облачной систе-



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.59. Кучево-дождевое лысое облако (Cumulonimbus calvus).

мы холодного фронта I рода и при его прохождении сменяются слоисто-дождевыми облаками (Ns). При этом интенсивные ливневые осадки переходят в обложные.

Для холодного фронта II рода кучево-дождевые облака являются основной формой облаков. Они наблюдаются в виде облачных валов в зоне шириной 50—100 км перед фронтом и сопровождаются ливневыми осадками, шквалами и грозами. Наибольшего развития кучево-дождевые облака на холодных атмосферных фронтах над сушей достигают в послеполуденные часы, а ночью они могут размываться.

Рис. 2.60. Вымяобразные выступы на нижней поверхности кучево-дождевого облака (Cumulonimbus).



Рис. 2.61. Летом прохождение кучево-дождевых облаков (Cumulonimbus) нередко сопровождается грозой. На снимке — молния на фоне темного основания кучево-дождевого облака с полосами выпадения осадков.

На теплом атмосферном фронте кучево-дождевые облака наблюдаются значительно реже, чем на холодном. Они образуются в начальной стадии зарождения циклона в районе приземной линии фронта. На фронтах окклюзии кучево-дождевые облака также наблюдаются вблизи приземной линии фронта.

Согласно классификации ВМО выделяются два вида кучево-дождевых облаков.

1. *Кучево-дождевые лысые* (Cumulonimbus calvus, Cb calv.) (рис. 2.59). Вершины этих облаков имеют сглаженный вид. Образование лысого облака — первая стадия развития кучево-дождевого облака из кучевого мощного. При этом вершина облака перестает клубиться, сглаживается и начинает постепенно приобретать волокнистую структуру.

2. *Кучево-дождевые волосатые* (Cumulonimbus capillatus, Cb cap.) (см. рис. 2.57). Облака, вершины которых имеют волокнистый перистообразный вид. Волокна под влиянием ветра распространяются по горизонтали.

Разновидности Cb не выделяются, но существуют некоторые дополнительные особенности этих облаков — полосы падения осадков, осадки, наковальня, грозовой вал, вымяобразные выступы и т. п. (рис. 2.60—2.62).



ФОТО А. АНДРЕЕВА

а	б
в	г

Рис. 2.62. Прохождение кучево-дождевого облака (Cumulonimbus) с выпадением града.

а — приближение кучево-дождевого облака с грозовым валом; б — выпадение интенсивного града; в, г — после прохождения облака под его основанием видны белые полосы выпадения града.

2.13. Дополнительные формы и дополнительные особенности облаков

Наряду с основными формами, в классификации ВМО выделены дополнительные формы облаков, которые могут наблюдаться только вместе с облаками одной из основных форм.

Определяются три дополнительные формы облаков.

1. Шапки (*pileus, pil.*) — облака, обычно небольших размеров, образующиеся над вершинами кучевых или кучево-дождевых облаков.

2. Вуаль (*velum, vel.*) — протяженный слой облаков, образующихся над вершинами кучевых или кучево-дождевых облаков.

3. Ключья (*pannus, pann.*) — рваные клочкообразные облака, образующиеся под нижней поверхностью облаков некоторых форм.

К дополнительным особенностям облаков относятся визуально различимые признаки, которые характеризуют тот или иной процесс, протекающий в облаках основных форм.

Различают шесть дополнительных особенностей облаков.

1. Вымя (*mamma, mam.*) — вымеобразные провисы на нижней границе облака.

2. Наковальня (*incus, inc.*) — вершина кучево-дождевого облака, имеющая форму наковальни, обычно с волокнистой структурой.

3. Полосы падения (*virga, vir.*) — следы падения осадков, не достигающих поверхности Земли.

4. Осадки (*praecipitatio, prae.*) — достигающие поверхности Земли осадки.

5. Грозовой вал (*arcus, arc.*) — быстро движущийся низкий облачный вал перед кучево-дождевыми, обычно фронтальными, облаками.

6. Хобот (*tuba, tub.*) — смерч, не достигающий поверхности земли. Выглядит как облачная колонна или перевернутый конус с основанием на нижней поверхности кучево-дождевого (редко кучевого) облака. В умеренных широтах наблюдается редко.

Шапки (pileus, pil.)

Шапки представляют собой облака небольшой горизонтальной протяженности, образующиеся над вершинами конвективных облаков (кучевых или кучево-дождевых) (рис. 2.63, 2.64, 2.66).

В своем развитии вершины конвективных облаков зачастую достигают уровня с большой влажностью воздуха, обычно располагающегося под слоем инверсии. Сильные восходящие движения, существующие внутри конвективного облака, приподнимают этот влажный слой, образуя волну, повторяющую форму вершины кучевого или кучево-дождевого облака. Поднимаясь, водяной пар охлаждается и конденсируется, образуя в гребне волны облако, по форме напоминающее чечевицеобразное. Это облако накрывает вершину Cu или Cb своеобразной белоснежной шапкой.

Шапка обычно существует не более нескольких минут, при этом ее конфигурация все время меняется. При дальнейшем развитии конвективного облака его вершина разрывает шапку и пронизывает ее. От шапки остается белое облачное кольцо, окружающее вершину Cu или Cb.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО А. САЕНКО

Ci	
Cc	
Cs	
Ac	
As	
Ns	
St	
Sc	
Cu	+
Cb	+

Рис. 2.63. Яркая белая шапка образовалась над развивающимся кучевым *средним* облаком (Cu med.).

Рис. 2.64. Освещенная солнцем шапка над вершиной кучево-дождевого *лысого* облака (Cb calv.).

Ci	
Cc	
Cs	
Ac	
As	
Ns	
St	
Sc	
Cu	+
Cb	+

Вуаль (velum, vel.)

Вуаль — это протяженный тонкий облачный слой, образующийся над грядами кучевых (Cu) или кучево-дождевых (Cb) облаков, реже над отдельными облаками (рис. 2.65, 2.66).

Причиной образования вуали служит подъем влажного подынверсионного слоя восходящими потоками, связанными с конвективными облаками. При подъеме слоя

водяной пар в нем охлаждается и конденсируется, в результате чего под инверсией образуется слой облаков. Эти облака в зависимости от высоты могут быть высококучевыми или перисто-кучевыми.

Над конвективными облаками могут образоваться несколько вуалей — одна над другой; одновременно над вершинами облаков могут развиваться и шапки. Вершины конвективных облаков, окруженные вуалью, продолжают развиваться в высоту. В отличие от шапок слой вуали может сохраняться достаточно долго и существовать самостоятельно после разрушения конвективного облака.

Рис. 2.65. Тонкий белый слой вуали над грядой развивающихся кучевых мощных облаков (Cu cong.).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



а	б
в	г

Рис. 2.66. Развитие шапок и вуалей над грядой кучевых мощных облаков (Cu cong.).

а — облачная шапка и развитие вуали над ней, б — развитая шапка постепенно растекается над вершиной Cu, в — вуаль и развитие второй шапки, г — два слоя вуали.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Ci	
Cc	
Cs	
Ac	
As	+
Ns	+
St	
Sc	
Cu	+
Cb	+

Рис. 2.67. Ключья слоистых разорванных облаков (St fr.) под основанием высокостроистых просвечивающих облаков (As trans.)

Рис. 2.68. Кучевые разорванные облака (Cu fr.) и слоистые разорванные облака (St fr.) сливаются в темно-серый с просветами слой под основанием кучево-дождевого облака (Cb).



Ключья (pannus, pann.)

Под основанием облаков, из которых выпадают осадки, зачастую наблюдаются беспорядочно расположенные темно-серые слоистые разорванные (St fr.) и кучевые разорванные (Cu fr.) облака с неровными краями (облака плохой погоды). Согласно классификации ВМО эти облака носят название ключья (рис. 2.67, 2.68).

При выпадении осадков и их испарении происходит дополнительное увлажнение воздуха в подоблачном слое. Водяной пар, поднимаемый турбулентными потоками вверх, охлаждается и вновь конденсируется, образуя отдельные разорванные облака, или ключья. Если осадки выпадают в течение продолжительного времени, ключья облаков сливаются в слой, который полностью закрывает вышележащее облако и может слиться с его основанием. При этом выпадающие из основного облака осадки производят разорванные облака.

Ключья облаков образуются под высокостроистыми (As), слоисто-дождевыми (Ns), кучево-дождевыми (Cb) и кучевыми мощными (Cu cong.) облаками.

Вымя (mamma, mam.)

Эта дополнительная особенность проявляется в образовании провисей и выпуклостей на нижней границе облака (рис. 2.69, 2.70).

Образование вымеобразных выступов на нижней границе облаков происходит следующим образом. Испарение выпадающих из облака осадков вызывает охлаждение подоблачного слоя, стратификация в нем становится неустойчивой, что приводит к развитию конвективных движений. Если влажность воздуха в этом слое велика, то в восходящих потоках происходит конденсация водяного пара.

Протяженность вымеобразных провисей зависит от толщины неустойчивого слоя. Наибольшего развития они достигают, когда образуются под наковальной кучево-дождевых облаков. В этом случае они свисают глубоко вниз в виде виноградных гроздьев.



Ci	+
Cc	+
Cs	
Ac	+
As	+
Ns	
St	
Sc	+
Cu	
Cb	+

Рис. 2.69. Вымеобразные выступы развиваются под нижней поверхностью перистых нитевидных облаков (Ci fib.).

Рис. 2.70. Характерный вид вымеобразных провисей под наковальной кучево-дождевого облака (Cb).

Ci	
Cc	
Cs	
Ac	
As	
Ns	
St	
Sc	
Cu	
Cb	+

Наковальня (Incus, inc.)

Наковальня — ледяная вершина кучево-дождевого облака, имеющая вид перевернутой трапеции (рис. 2.71, 2.72). В надвигающемся облаке видны веерообразно раскинутые по небу волокна.

В процессе развития кучево-дождевое облако достигает уровня, на котором капли в его верхней части превращаются в ледяные кристаллы, вершина приобретает сглажен-

ный вид. Если облако достигает слоя инверсии, его дальнейшее развитие прекращается и кристаллическая вершина облака растекается под этим слоем в виде наковальни.

Наковальня кучево-дождевого облака при солнечном освещении имеет ярко-белый цвет и хорошо заметную волокнистую перистовидную структуру без теней. Вершина наковальни сглаженная. Под действием ветра подветренная сторона наковальни может быть сильно вытянутой. При распаде кучево-дождевого облака остатки наковальни еще долго существуют как самостоятельные перистые плотные облака.

Рис. 2.71. Ярко-белая перистая вершина кучево-дождевого волосатого облака (Cb сар.) имеет характерную форму перевернутой трапеции — наковальни. Белый цвет наковальни свидетельствует о ее ледяной структуре. Перед ней — растущая вторая наковальня.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 2.72. Наковальни кучево-дождевых облаков (Сb) могут иметь ярко выраженную волокнистую структуру (*вверху*) или плоскую, растекающуюся под слоем инверсии вершину (*внизу*).

Ci	
Cc	+
Cs	
Ac	+
As	+
Ns	+
St	
Sc	+
Cu	+
Cb	+

Рис. 2.73. Полосы падения осадков из *высококучевых хлопьевидных облаков* (Ac floc. vir.) в виде длинных белых нитей, расположенных под углом к горизонту.

Рис. 2.74. Полосы падения осадков из *кучево-дождевого облака* (Cb) имеют вид темно-серой бахромы с неровными краями, скрывающей основание облака.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Полосы падения (virga, vir.)

Капли и кристаллы, выпадающие из облаков, не всегда достигают поверхности Земли. По пути от основания облака они испаряются, причем их следы хорошо различимы в виде полос падения под облаками (рис. 2.73, 2.74).

Полосы падения осадков из кристаллических облаков, например перисто-кучевых (Cc), имеют вид почти параллельных длинных нитей, часто изогнутых ветром. Цвет полос белый, что свидетельствует об их кристаллической структуре; длина может составлять сотни и даже тысячи метров.

Полосы падения из смешанных облаков могут иметь как белый, так и серый цвет в зависимости от вида выпадающих осадков и освещения. Так, часто можно наблюдать длинные, деформированные ветром, белые полосы падения под высококучевыми облаками (Ac) или серую бахрому осадков под высокослоистыми облаками (As). Темно-серые полосы падения осадков из слоисто-дождевых (Ns) или кучево-дождевых (Cb) облаков скрывают основание облака, придавая ему разорванный вид.

Осадки (praecipitatio, prae.)

Дополнительной особенностью некоторых форм облаков является выпадение из них осадков. В отличие от полос падения (*virga*) осадки достигают поверхности Земли (рис. 2.75). Они могут иметь вид дождя, снега, мокрого снега, снежной или ледяной крупы, града, мороси. По характеру выпадения различают обложные, ливневые и морсящие осадки.

Выпадение осадков наиболее характерно, прежде всего, для дождевых облаков — слоисто-дождевых (Ns) и кучево-дождевых (Cb). Зимой осадки в виде снега часто выпадают из высокослоистых облаков (As). Реже осадки, достигающие поверхности Земли, выпадают из кучевых мощных (Cu cong.) и слоисто-кучевых (Sc) облаков.

Со стороны выпадающие осадки имеют вид полос, тянущихся от основания облака до поверхности Земли. В зависимости от типа осадков, их интенсивности и освещения цвет полос может меняться от светло-серого до почти черного.

Ci	
Cc	
Cs	
Ac	
As	+
Ns	+
St	+
Sc	+
Cu	+
Cb	+



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.75. Осадки, выпадающие из кучево-дождевого облака (Cb).

Ci	
Cc	
Cs	
Ac	
As	
Ns	
St	
Sc	
Cu	
Cb	+

Грозовой вал (arcus, arc.)

Иногда при приближении кучево-дождевого облака (Cb) можно наблюдать в его передней части быстро движущийся четко очерченный дугообразный вал, состоящий из кучевых разорванных (Cu fr.) и слоистых разорванных (St fr.) облаков (рис. 2.76, 2.77). Движение грозowego вала обычно сопровождается шквалистым ветром.

В передней части кучево-дождевого облака развиваются очень сильные восходя-

щие движения теплого и влажного воздуха. В центральной и тыловой частях Cb выпадение интенсивных ливневых осадков и их испарение вызывают охлаждение воздуха и его нисходящее движение. Взаимодействие восходящего движения теплого воздуха и нисходящего движения холодного воздуха под облаком приводит к образованию вихря с горизонтальной осью (шквала). Этим вихрем водяной пар, образовавшийся при испарении осадков, опять поднимается вверх, где охлаждается и конденсируется. В результате образуются разорванные завихренные облака в передней части кучево-дождевого облака — грозовой вал.

Рис. 2.76. Темный грозовой вал перед кучево-дождевым облаком (Cb). Хорошо различимы более светлая дугообразная граница вала и осадки, выпадающие из Cb.

ФОТО О. АНДРЕЕВА





а	в
б	з

Рис. 2.77. Прохождение кучево-дождевого облака с грозовым валом (Cb arc.).

а — перед приближающимся кучево-дождевым облаком быстро движется темный дугообразный вал; *б* — вблизи хорошо различима светлая граница грозового вала и разорванные облака; *в* — грозовой вал сбоку имеет вид клина, состоящего из отдельных облаков; *з* — прохождение грозового вала сопровождается резким уменьшением освещенности и порывами шквалистого ветра, сгибающего деревья.

2.14. Конденсационные следы (Cirrus tractus, Ci tr.)

За летящими в небе самолетами нередко остаются похожие на перистые или перисто-кучевые облака следы, которые называются конденсационными следами. Обычно конденсационные следы имеют вид полос, протянувшихся через весь небосвод (рис. 2.78—2.79).

Конденсационные следы образуются, как правило, в верхней тропосфере на высоте 8—11 км. Они возникают при таких метеорологических условиях, которые благоприятствуют образованию облаков верхнего яруса, и часто наблюдаются вместе с перистыми и перисто-кучевыми облаками. Одна-

Рис. 2.78. Конденсационные следы имеют вид протянувшихся через весь небосвод широких полос и могут существовать длительное время. Этому способствует неустойчивая стратификация в верхней тропосфере.

ФОТО О. САЕНКО



ко в классификации ВМО конденсационные следы не рассматриваются как естественные облака, хотя им и присвоено латинское название *Cirrus tractus* (Ci tr.).

При полете самолета продукты сгорания топлива выбрасываются в атмосферу в газообразном виде, причем выхлопные газы, в которых велико содержание водяного пара, нагреты до высоких температур. При выбросе газов происходит почти мгновенное их расширение, приводящее к сильному охлаждению и конденсации водяного пара. Дополнительным стимулом к конденсации является и выброс значительного числа ядер конденсации — мельчайших частиц отработанного топлива. Как правило, в следе непосредственно за самолетом образуются водяные капли, а на расстоянии в несколько десятков метров от самолета капли замерзают, и образовавшийся след состоит из ледяных кристаллов. Об этом свидетельствует белый цвет конденсационных следов, иногда на них можно наблюдать явление гало.

Дальнейшее развитие конденсационного следа зависит от термической стратификации верхнего слоя тропосферы. В случае устойчивой стратификации следы самолетов довольно быстро рассеиваются, в случае неустойчивой — могут оставаться на не-

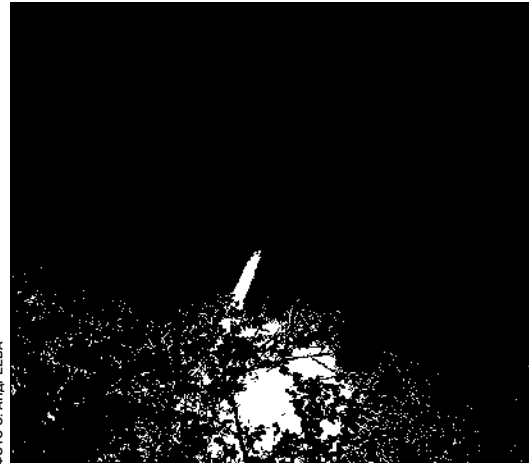


ФОТО О. АНДРЕЕВА

босводе длительное время, постепенно изменяя внешний вид, растекаясь в широкие полосы или разбиваясь на отдельные хлопья. Иногда такой растекшийся конденсационный след становится похожим на перистое хребтовидное облако.

В отдельных случаях появление конденсационных следов может дать толчок к развитию из них перисто-кучевых или перистых облаков.

При наблюдениях за облаками конденсационные следы регистрируются только в том случае, если они устойчивы и имеют сходство с какой-либо формой облаков.

Рис. 2.79. На закате или восходе солнца конденсационные следы часто отбрасывают тени на вышележащие облака.

2.15. Туманы

Явление	Дальность видимости
Слабая дымка	4–10 км
Умеренная дымка	2–4 км
Сильная дымка	1–2 км
Слабый туман	500–1000 м
Умеренный туман	50–500 м
Сильный туман	Меньше 50 м

Туман — это скопление непосредственно у земной поверхности взвешенных в воздухе капель и кристаллов. Горизонтальная видимость в тумане составляет менее 1 км. Слабое помутнение воздуха с видимостью от 1 до 10 км называется дымкой. Большое количество пыли и дыма в воздухе, сильно уменьшающее видимость, называется мглой. В промышленных городах наблюдаются сильные туманы, смешанные с дымом, — это городские туманы, или смог (рис. 2.80).

При положительных и небольших отрицательных температурах воздуха туман состоит из капель воды, при температуре воздуха ниже -10°C в нем появляются ледяные кристаллы, при очень низкой температуре (ниже -30°C) туман может быть полностью кристаллическим. Радиус капель в тумане составляет в среднем 2—5 мкм, в дымке — менее 1 мкм.

Туманы образуются при благоприятных условиях для конденсации водяного пара вблизи земной поверхности. Такими

условиями являются избыток водяного пара и наличие ядер конденсации. Ядра конденсации в приземном слое воздуха имеются всегда, а избыток пара может образоваться при изменении водного и теплового режима воздуха.

Изменение вида, продолжительности и различных характеристик тумана обусловлено следующими основными процессами тепло- и влагообмена в атмосфере: 1 — *испарение* с относительно теплой поверхности в холодный воздух; 2 — *охлаждение* воздуха вблизи земной поверхности. По типу этих процессов туманы разделяют на туманы испарения и туманы охлаждения.

Туманы испарения чаще всего наблюдаются над озерами и реками осенью и зимой, когда поверхность воды теплее окружающего воздуха. В теплое время года они появляются вечером или ночью. В высоких широтах туманы испарения наблюдаются над незамерзающими районами морей, полыньями или у кромки льда. Над сушей ту-

маны испарения образуются над влажными участками при похолодании (например, вечером после дождя). Для образования тумана испарения необходимо, чтобы разница температур воды и воздуха составляла не менее 4—6 °С.

Туманы охлаждения образуются в результате понижения температуры земной поверхности и приземного слоя атмосферы до точки росы, что приводит к уменьшению максимально возможного содержания водяного пара в воздухе, а значит, к его конденсации.

Причиной охлаждения земной поверхности и прилежащего к ней воздуха может



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.80. Пожары на торфяниках в окрестностях Санкт-Петербурга в конце августа 2002 г. привели к образованию смога, который является разновидностью тумана испарения, смешанного с дымом.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.81. Ночью над вспаханным полем вследствие его охлаждения образовался радиационный туман. Максимальная толщина слоя тумана достигает 3—4 м. Плотность тумана невелика, сквозь него просвечивают огни на шоссе.

Рис. 2.82. Тонкий, толщиной не более 1 м, слой радиационного тумана образовался утром над площадкой метеорологической станции.



ФОТО А. САЕНКО

Рис. 2.83. Плотный адвективный туман, возникший при перемещении более теплого воздуха над холодной подстилающей поверхностью. Видимость в тумане не превышает 30 м. снимок сделан с высоты, превышающей высоту верхней границы тумана (около 20 м), — солнце наполовину скрыто в слое тумана.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

быть радиационное выхолаживание. Возникающие при этом туманы называются *радиационными* (рис. 2.81, 2.82). Радиационные туманы чаще всего образуются при слабом ветре и достаточно высокой влажности воздуха в ясные и тихие ночи. В их образовании большую роль играют местные условия — туманы часто наблюдаются над низинами, оврагами, вблизи болот и отсутствуют на расположенных рядом возвышенных участках.

При натекании (адвекции) теплой воздушной массы на холодную подстилающую поверхность происходит ее охлаждение. Это приводит к возникновению *адвективных* туманов (рис. 2.83, 2.84). Такие туманы образуются в любое время суток при значительной скорости ветра, распространяются в высоту на сотни метров и могут охватывать большие пространства. Чаще всего адвективные туманы на суше наблюдаются осенью и зимой, на море — весной и летом.

В результате перемешивания двух воздушных масс, имеющих разные температуры и содержащих водяной пар, близкий к состоянию насыщения, образуются *туманы смешения*. Они возникают на берегах морей и озер при большом контрасте температур воздуха над сушей и водой при слабом ветре.



а	б
в	г

Рис. 2.84. Различные стадии развития адвективного тумана, возникшего над поверхностью моря.

а — теплый влажный воздух натекает на холодную поверхность воды; понижение температуры натекающего воздуха приводит к конденсации водяного пара и образованию тумана; б, в, г — приближение тумана сопровождается значительным уменьшением видимости.



ФОТО О. АНДРЕЕВА

2.16. Оптические явления в облаках и осадках

С облаками связаны различные оптические явления в атмосфере, такие как гало, ложные солнца, венцы, глории, иризация и пр. Они обусловлены отражением, преломлением и дифракцией света в каплях воды и ледяных кристаллах, из которых состоят облака.

Гало

К наиболее распространенным оптическим явлениям в облаках относится гало. Чаще всего так называют светлые или имеющие радужную окраску круги, в центре которых находится солнце или реже луна. Характер окраски гало всегда одинаков: обращенная к солнцу или луне внутренняя сторона круга красного цвета, ближе к внешней стороне цвет меняется на желтый, зеленый, голубой, постепенно сливаясь с цветом неба.

Окрашенные гало образуются в результате преломления солнечных или лунных лучей в ледяных кристаллах облака, неокрашенные — в результате отражения лучей от



ФОТО А. АНДРЕЕВА

граней этих кристаллов. Облачные кристаллы имеют форму шестигранных призм, столбиков и пластинок. Основные оси кристаллов могут быть ориентированы в пространстве беспорядочно, вертикально или горизонтально. В зависимости от их ориентации возникают те или иные формы гало.

Наиболее часто наблюдаются круги гало угловым радиусом 22° (рис. 2.85, 2.86), реже — гало радиусом 46° (обычно в виде отдельных дуг), крайне редко — радиусом 90° .

Рис. 2.85. Круг гало угловым радиусом 22° в перисто-слоистых облаках.

Наряду с основным кругом гало можно увидеть касательные к нему дуги: чаще верхнюю и нижнюю, реже боковые (см. рис. 2.86).

Иногда можно наблюдать белый горизонтальный (паргелический) круг, проходящий через солнце. На пересечении этого круга с кругом гало образуются яркие пятна — ложные солнца (паргелии). Сторона пятна, обращенная к солнцу, окрашена в красный цвет. Наиболее яркими и четкими бывают ложные солнца, расположенные на круге гало 22° (рис. 2.87), менее яркими — на кругах 46° и 90° . Ложные солнца часто заканчиваются светлыми хвостами, направленными в сторону, противоположную солнцу. Так же могут выглядеть и ложные луны (парселены).

Если солнце находится низко над горизонтом или на небольшой глубине под горизонтом, можно наблюдать световые столбы, расположенные вертикально над солнцем или под ним. Чаще всего световые столбы бывают неокрашенными, но на заре приобретают желтоватый или розоватый оттенок (рис. 2.88, 2.89).

Гало образуются в тонких облаках, состоящих из ледяных кристаллов. Наиболее часто это явление можно наблюдать в перисто-слоистых (Cs) и перистых (Ci) облаках, реже — в перисто-кучевых (Cc). Иногда гало наблюдаются на конденсационных следах.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.86. Часть круга гало радиусом 22° и касательная к нему дуга в перисто-слоистых облаках.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.87. Ложное солнце (паргелий) образовалось на круге гало угловым радиусом 22° . Край, обращенный к солнцу, ярко окрашен; хвост, направленный от солнца, очень светлый.

Рис. 2.88. Световой столб, окрашенный в цвет зари, поднимается вертикально вверх над заходящим солнцем.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.89. Вертикальный неокрашенный световой столб в перисто-слоистых облаках наблюдается днем одновременно с гало угловым радиусом 22° .



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Венцы

Если солнце или луна просвечивают сквозь тонкий слой облаков, то они часто кажутся окруженными светящимся кольцом, которое называется ореолом или венцом первого порядка. Могут наблюдаться несколько концентрических колец, разделенных темными промежутками, — венцы второго, третьего порядка и т. д. Окраска всех венцов радужная, при этом внутренний край кольца голубоватый, наружный — красный. Венцы одинаково часто появляются как вокруг солнца, так и вокруг луны, но в ярком солнечном свете они плохо различимы. Наиболее заметны венцы ночью вокруг полной луны (рис. 2.90).

Венцы гораздо ближе прилегают к небесному светилу, чем гало. Угловой радиус красного края венца первого порядка составляет несколько градусов (от 1 до $4\text{--}5^\circ$), второго — в два раза больше и т. д.

Образование венцов обусловлено рассеянием (дифракцией) солнечных или лунных лучей, проходящих через малые промежутки между капельками или кристаллами облаков. Размеры венцов определяются размерами облачных капель или кристаллов: чем последние меньше, тем больше радиус

венца. Яркость венцов зависит от того, насколько близки по размерам облачные элементы. Капельно-жидкие облака обычно содержат капли разного размера, поэтому венцы в этих облаках бывают блеклыми и размытыми. Наиболее четкие венцы с яркими цветами наблюдаются в кристаллических облаках.

Венцы образуются в высококучевых (Ac) и слоисто-кучевых (Sc) облаках, реже в высокослоистых (As), слоистых (St) и кучевых (Cu) облаках, из кристаллических облаков — в перисто-кучевых (Cs).

Иризация облаков

Нередко на облаках, расположенных на расстоянии от солнца 30° и более, появляется радужная окраска. Это явление называется иризацией. Преобладающими цветами в окраске облаков являются красный и зеленый.

Явление иризации возникает в основном в тех частях облаков, где находятся мелкие капли разных размеров. Наиболее ярко окрашенными бывают тонкие края облаков, состоящие из мелких капель (рис. 2.91).

Чаще всего иризацию можно наблюдать на перисто-кучевых (Cs), высококучевых (Ac) и слоисто-кучевых (Sc) облаках.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.90. Очень яркий радужный венец вокруг луны в высококучевых облаках.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 2.91. Явление иризации тонких краев высококучевых облаков.

Рис. 2.92. На сделанном с самолета снимке хорошо различима глория — радужное кольцо вокруг тени самолета на облаках.



ФОТО В. ИПОПОГИТОВА

Рис. 2.93. Радуга с многочисленными яркими добавочными дугами с внутренней стороны обычно появляется на фоне не слишком интенсивных летних дождей.



ФОТО Е. ГОЛОВИНОЙ

Глории

В горах или с борта самолета можно наблюдать явление глории. Глория представляет собой один или несколько радужных кругов, но расположенных не вокруг солнца или луны, а вокруг точки, противоположной светилу. Когда на расположенные прямо перед наблюдателем или ниже облака падает его тень, она бывает окружена светящимся нимбом (рис. 2.92).

Так же, как и венцы, это явление связано с дифракцией солнечных лучей в каплях облаков. Однако в этом случае рассеиваются уже отраженные от облачных капель лучи света.

Радуги

В теплое время года нередко можно наблюдать радугу. Радуга — это цветная дуга с угловым радиусом 42° , видимая на фоне ливневого дождя или полос падения дождя. Радуга видна в стороне, противоположной солнцу, и обязательно при солнце, не закрытом облаками. Внешняя сторона радуги окрашена в красный цвет, внутренняя — в фиолетовый. Внутри радуги могут наблюдаться дополнительные цветные дуги. Нередко кроме основной наблюдается и вторичная радуга, имеющая обратный порядок расположения



Рис. 2.94. Освещенное солнцем кучево-дождевое облако с полосами выпадающих осадков — наилучшие условия для появления радуги. Узкий и яркий полукруг радуги свидетельствует о том, что выпадающие капли дождя очень крупные.

цветов. Угловой радиус второй дуги — около 50° . Изредка можно увидеть несколько радуг одновременно (рис. 2.93).

Радуга образуется в результате преломления и отражения солнечных лучей в каплях осадков. При этом происходит разложение белого цвета в спектр (дисперсия).

Ширина радуг, наличие и яркость отдельных цветовых тонов очень сильно зависят от размеров капель дождя (рис. 2.94). Чем мельче капли, тем шире радуга и тем более размытыми становятся ее цвета. На очень мелких каплях (например, каплях тумана) радуга становится белой (рис. 2.95).



Рис. 2.95. Неокрашенная (белая или туманная) радуга образовалась на очень мелких каплях слабого тумана над открытым участком воды.

2.17. Местные особенности облаков

Такие характеристики облачности, как высота нижней границы облаков, повторяемость той или иной формы, пространственные размеры облачных полей и т. п., могут существенно различаться в зависимости от территории, над которой происходит образование облаков, и во многом обусловлены характером подстилающей поверхности, особенностями рельефа местности и радиационными условиями.

Облака горных территорий

Особенности образования облаков в горных районах обусловлены своеобразностью горного рельефа. Отдельные вершины или протяженные горные хребты являются естественными препятствиями на пути воздушных масс, а различия в характере подстилающей поверхности создают условия для ее неравномерного прогрева (рис. 2.96).

Рис. 2.96. Кучевые облака (Cu) образовались под влиянием вертикальных потоков над разогретыми солнцем склонами гор (в этих потоках парит парашютист). Над затененной долиной заметен разрыв в облаках.

фото Т. ПОТАПОВОЙ



Одной из причин, приводящих к образованию облаков в горных районах, является натекание теплого воздуха на горный хребет. При адиабатическом подъеме воздух расширяется и охлаждается, достигая состояния насыщения. В результате конденсации водяного пара вдоль наветренных склонов гор образуются облака, форма которых зависит от степени устойчивости воздушной массы. При перетекании через хребет воздух, опускаясь вдоль подветренного склона, нагревается, облачные капли испаряются, и облака рассеиваются.

Если воздушная масса устойчива, то обычно образуются слоисто-дождевые и высокослоистые облака. В случае неустойчивой воздушной массы образуются кучевые или кучево-дождевые облака.

Кучево-дождевые облака, образующиеся таким образом, остаются на одном месте в течение длительного времени, достигают значительных вертикальных размеров и дают продолжительные осадки, что может стать причиной опасных явлений (например, селей) (рис. 2.97).

Другой причиной образования орографических кучевых облаков являются восходящие потоки воздуха, обусловленные сильным нагревом солнечными лучами ка-



фото О. Ионовой

Рис. 2.97. Стационарные кучевые облака (Cu) над вершинами гор.

Рис. 2.98. Образовавшееся вблизи горной вершины *высококучевое чечевицеобразное облако* (Ac lent.) в форме перевернутой тарелки остается неподвижным в течение длительного времени.



ФОТО В. БОЯРСКОГО

Рис. 2.99. Протяженное *высококучевое чечевицеобразное облако* (Ac lent.) с поперечным волнистым строением образовалось вследствие орографических причин (вдоль побережья расположен горный массив).



ФОТО О. АНДРЕЕВА

менистых склонов гор. При адиабатическом подъеме воздуха происходит его охлаждение и конденсация водяного пара. Образовавшиеся конвективные облака носят локальный характер, образуются только над перегретыми склонами и существуют в течение дня. Над расположенными рядом затененными склонами гор или долинами, покрытыми растительностью, облака не образуются.

Если при своем движении воздушная масса встречает горный хребет, то при перетекании воздушного потока через него в атмосфере образуются вынужденные волны. Амплитуда и длина волны зависят от нескольких факторов: скорости воздушного потока, степени устойчивости атмосферы, вертикального градиента температуры, размеров и конфигурации хребта. В гребнях таких волн происходит адиабатический подъем воздуха, его охлаждение и конденсация водяного пара, что приводит к образованию на подветренной стороне хребта орографических чечевицеобразных облаков (рис. 2.98). В зависимости от высоты слоя, в котором образуются эти облака, они могут быть слоисто-кучевыми, высококучевыми или перисто-кучевыми.

Если скорость и направление ветра постоянны, то образующаяся волна стационар-

на и не перемещается в пространстве. Появившиеся на этой волне чечевицеобразные облака остаются неподвижными в течение длительного времени (рис. 2.99).

Волновые возмущения могут распространяться на сотни километров от горного хребта и иметь несколько гребней и ложбин, поэтому чечевицеобразные орографические облака часто наблюдаются на значительном расстоянии от горных районов. С удалением от горного хребта волны постепенно затухают.

В гребне волны, расположенной над самой вершиной, образуется облако, которое закрывает ее своеобразной облачной шапкой (рис. 2.100). Если уровень конденсации находится ниже вершины, то образовавшееся облако может иметь вид кольца или ожерелья, опоясывающего вершину.

Вдоль протяженного горного хребта чечевицеобразные облака иногда образуются в форме длинных широких полос, параллельных хребту.

Над изолированными вершинами гор иногда наблюдается явление „облачного флага” или „курящейся вершины”. Так называют постоянно изменяющее свои контуры облако, как бы прикрепленное к вершине (рис. 2.101). Это явление связано с



фото о. ионовой

Рис. 2.100. Облачная шапка над вершиной горы.



фото в. боярского

Рис. 2.101. Разорванное облако над вершиной горы имеет вид развевающегося флага.

Рис. 2.102. В результате ночного выхолаживания между горными хребтами образуются *слоистые облака* (St), постепенно затягивающие сплошным покровом всю долину. Сверху эти облака кажутся настоящим облачным морем с ровной или волнистой верхней поверхностью.



ФОТО М. ДАГАЕВОЙ

охлаждением воздуха при его подъеме над вершиной и наблюдается при сильном ветре вдоль склона.

В ночные часы в долинах происходит радиационное выхолаживание поверхности Земли, в результате которого образуются туманы и слоистые или слоисто-кучевые облака. При наблюдении сверху (с вышележащих склонов гор, с самолета) хорошо виден сплошной покров облаков, заполняющий долину и часто имеющий волнообразную верхнюю поверхность. Это явление называют облачным морем (рис. 2.102, 2.103).



ФОТО О. ИОНОВОЙ

Рис. 2.103. Облачное море из *слоисто-кучевых облаков* (Sc) в горной долине.



ФОТО М. ДАГАЕВОЙ

Рис. 2.104. Теплый влажный воздух с моря охлаждается при подъеме по горным склонам. При этом образуются орографические кучевые облака (Cu).

Облака над морем

Особенности образования облаков над морем связаны со значительной однородностью поверхности моря, а следовательно, и с однородностью радиационного режима, а также с особенностями режима испарения (рис. 2.104).

Воздушные массы, формирующиеся над сушей и над морем, существенно различаются как по температуре, так и по влажности воздуха.

При движении теплой воздушной массы над холодным морем происходит ее охлаждение, что приводит к конденсации

водяного пара и образованию слоистых и слоисто-кучевых облаков. Уровень конденсации над морем расположен несколько ниже, чем над сушей, поэтому нижняя граница этих облаков может опускаться до самой поверхности воды.

В зимнее время года к образованию обширных полей слоистых и слоисто-кучевых облаков приводит испарение с теплой поверхности моря в холодный воздух. Эти облака могут занимать обширные территории и существовать длительное время.

Перемещение холодной воздушной массы над теплым морем приводит к образо-

Рис. 2.105. Бризовый пояс кучевых средних облаков (Cu med.), образовавшийся рано утром над водной поверхностью вблизи горизонта.



ФОТО О. АНДРЕЕВА

ванию конвективных (кучевых и кучево-дождевых) облаков, облака при этом расположены над водой значительно ниже, чем над сушей. С кучево-дождевыми облаками, образовавшимися над морем, связаны такие опасные явления, как смерчи.

Образование конвективных облаков над морем может происходить в любое время суток, причем их повторяемость днем и ночью одинакова.

В прибрежных зонах в теплое время года под влиянием бризовой циркуляции образуется так называемый бризовый пояс облаков — это кучевые плоские и средние облака (редко кучевые мощные) в виде узкой гряды над морем на расстоянии 15—20 км от берега. Ширина такого пояса составляет несколько километров. Бризовый пояс обычно образуется рано утром, после восхода солнца, и существует несколько часов (рис. 2.105).

Облака полярных территорий

Особенности образования облаков в полярных районах связаны с особым температурным режимом в течение всего года и характером подстилающей поверхности.

Наличие мощных температурных инверсий в течение всего года приводит к формированию в полярных районах устойчивых воздушных масс. Наиболее характерными

формами облаков являются слоистые и слоисто-кучевые. Поля этих облаков имеют значительную горизонтальную протяженность (сотни и тысячи километров).

Отличительной особенностью облачности полярных районов является значительно меньшая по сравнению с другими территориями высота нижней границы облаков, что связано с меньшей высотой уровня конденсации (рис. 2.106).



ФОТО В. БОЯРСКОГО

Рис. 2.106. Слой слоисто-кучевых просвечивающих облаков (Sc trans.) расположен низко над землей и закрывает вершины небольших гор.

Глава 3. Облачные системы, связанные с крупномасштабными атмосферными процессами

Как уже указывалось выше, тропосфера по своему физическому состоянию неоднородна в горизонтальной плоскости. Характер погоды во многом обусловлен свойствами господствующей воздушной массы, а наиболее резкие изменения погоды связаны со сменой воздушных масс.

Теплая устойчивая воздушная масса над материками наблюдается, как правило, в холодное время года, когда на сушу приходит теплый океанический воздух. Над океанами и морями теплая устойчивая воздушная масса отмечается в основном летом в случае смещения теплого воздуха с материка на относительно холодную водную поверхность. Такая воздушная масса характерна для теплых секторов циклонов и примыкающих к ним северных окраин антициклонов. В этом случае над морем наблюдается сплошная слоистая или слоисто-кучевая облачность, выпадение морозящих осадков, а также образование адвективных туманов.

Зимой в умеренных широтах приход теплой устойчивой воздушной массы иногда сопровождается оттепелью.

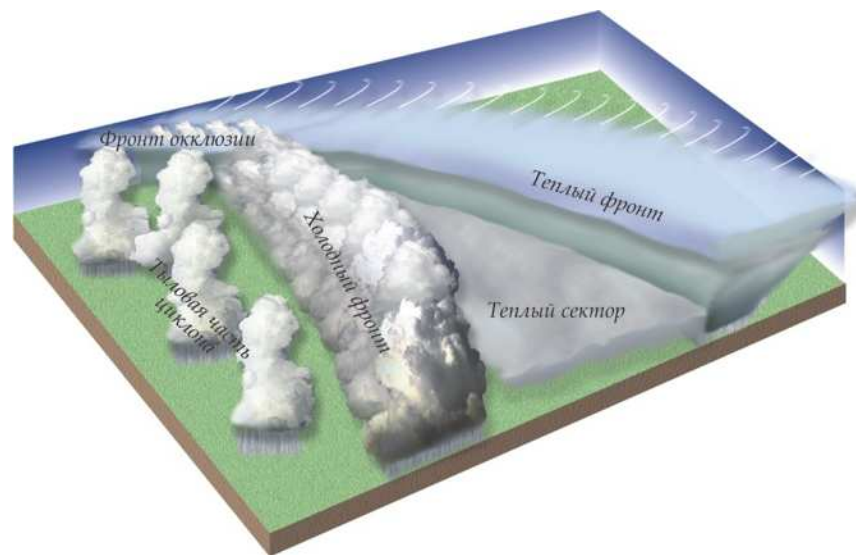
Теплая неустойчивая воздушная масса над материками обычно наблюдается летом, а вблизи побережий морей может наблюдаться и зимой. Над океанами и морями такая воздушная масса формируется, как правило, в холодное время года при перемещении холодного воздуха с материка на более теплую водную поверхность. Теплая неустойчивая воздушная масса может наблюдаться в теплых секторах циклонов и на западной периферии антициклонов, для нее характерна кучевая и кучево-дождевая облачность с ливневыми осадками, иногда с грозами, в том числе ночными, радиационные туманы.

Холодная неустойчивая воздушная масса над материками, как правило, наблюдается в теплое время, а над океанами и морями — в основном в холодное время года, но может наблюдаться и летом, если относи-

тельно холодная воздушная масса смещается на более теплую водную поверхность. Наиболее часто холодная неустойчивая воздушная масса наблюдается в тыловой части циклонов за холодными фронтами и частично в примыкающих к ним окраинах антициклонов. Для нее характерна кучевая и кучево-дождевая облачность, развивающаяся днем, часто повторяющиеся ливневые осадки, днем грозы, а ночью над материками радиационные туманы.

Холодная устойчивая воздушная масса над материками наблюдается в основном зимой, но в полярных областях может наблюдаться и летом. Над морями такая воздушная масса, как правило, не отмечается. Холодная устойчивая воздушная масса характерна для антициклонов в целом, а особенно для их центральных частей, где отмечается безоблачная морозная погода, иногда с радиационными туманами. На западных и северных окраинах антициклонов при адвекции относительно теплого и влажного воздуха над нижним слоем холодного воздуха формируются сплошные облачные поля St—Sc, часто значительных размеров.

Зоны раздела воздушных масс (атмосферные фронты) всегда связаны с крупномасштабными вихрями с пониженным давлением в центре — *циклонами* (рис. 3.1). В



течение года во внетропических районах возникают сотни циклонов. Циклоны имеют весьма значительные размеры — их радиус может составлять сотни и тысячи километров. Нередко на смену одному циклону через короткий промежуток времени приходит следующий. В этом случае говорят о семействе циклонов. С понятием „циклон” обычно связано представление о плохой, т. е. пасмурной, погоде и выпадении осадков. Это соответствует действительности, поскольку наиболее существенные зоны

Рис. 3.1. Схема облачной системы развитого частично окклюдированного циклона с холодным фронтом II рода.

Рис. 3.2. Погода, характерная для теплого сектора циклона с теплой устойчивой воздушной массой: из слоистых облаков идут моросящие осадки.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

осадков в умеренных и высоких широтах связаны именно с атмосферными фронтами.

Продолжительность существования циклона, как правило, составляет несколько суток. В начальной стадии (молодой циклон) давление в нем понижается — циклон углубляется. В процессе развития циклона увеличиваются и его горизонтальные размеры. В стадии максимального развития давление в циклоне минимально, в стадии заполнения давление повышается; циклон постепенно затухает и, наконец, исчезает.

В молодом циклоне можно выделить три зоны, условия погоды в которых резко различаются. Передняя, холодная часть цик-

лона наблюдается перед теплым фронтом. Характер погоды здесь определяется свойствами холодной воздушной массы и облачной системой теплого фронта; мощность облаков увеличивается при приближении к линии фронта и центру циклона, здесь наблюдаются обложные осадки.

Между теплым и холодным фронтом находится теплый сектор циклона с теплой воздушной массой. Поскольку эта воздушная масса, как правило, бывает устойчивой, для теплого сектора наиболее характерна слоистая и слоисто-кучевая облачность, иногда моросящие осадки (рис. 3.2). Летом над сушей теплая воздушная масса может быть неустойчивой, в дневное время в теплом секторе молодого циклона развивается кучевая и кучево-дождевая облачность, иногда наблюдаются ливневые дожди и грозы (рис. 3.3).

За холодным фронтом располагается тыловая часть циклона, погода которой определяется свойствами холодной неустойчивой воздушной массы; вблизи приземной линии фронта наблюдаются мощные облачные скопления и ливневые осадки. В тылу циклона на вторичных холодных фронтах также развивается конвективная облачность и наблюдаются ливневые осадки.

Стадия максимального развития циклона характеризуется его окклюдированием.



а	б
в	

Рис. 3.3. Развитие конвективной облачности в теплой неустойчивой воздушной массе.

а — поле кучевых плоских облаков (Cu hum.), некоторые имеют признаки вертикального развития; *б* — кучевые средние (Cu med.) и кучевые мощные (Cu cong.) облака; *в* — кучево-дождевое облако с наковальней (Cb inc.). Снимки сделаны в одной точке наблюдения в 10 ч 30 мин, 12 ч 30 мин и 14 ч 15 мин соответственно.

Холодный фронт циклона обычно движется быстрее, чем теплый, постепенно догоняет его и смыкается с ним в единый фронт, называемый фронтом окклюзии. В зоне фронта окклюзии теплый сектор у поверхности Земли отсутствует, и в циклоне можно выделить лишь две зоны: переднюю часть циклона перед фронтом окклюзии и тыловую часть — за фронтом. Различия в погоде этих частей циклона определяются различиями свойств воздушных масс по обе стороны от фронта окклюзии. В тыловой части циклона часто развиваются вторичные холодные фронты. Для заполняющегося циклона характерно размывание фронтов. Сплошная зона осадков при этом распадается на отдельные участки, и постепенно условия погоды выравниваются во всех частях циклона.

Все атмосферные фронты различаются особенностями вертикального строения и условиями погоды вблизи приземной линии фронта. В зонах атмосферных фронтов формируются облачные системы значительной протяженности, в которых наблюдается смена форм облаков в определенной последовательности, а также изменение их высоты и толщины по мере прохождения через пункт наблюдения.

В тесной взаимосвязи с образованием циклонов возникают и развиваются области

с повышенным атмосферным давлением (*антициклоны*). Они образуются, как правило, внутри воздушных масс между соседними циклонами или за холодным фронтом последнего циклона семейства. Антициклоны также проходят стадии возникновения, максимального развития и разрушения, причем в стадии максимального развития достигают больших горизонтальных размеров, чем циклоны. В этой стадии антициклоны часто становятся малоподвижными и могут сохраняться в течение многих дней.

С понятием „антициклон” связано представление о хорошей погоде, т. е. малооблачной погоде без осадков. В действительности это справедливо для центральной части антициклонов, а их окраины по условиям погоды сходны с примыкающими частями соседних циклонов. Для антициклонов свойственно образование устойчивых слоев инверсии — как приземных, так и инверсий свободной атмосферы, во многом определяющих характер облачности. В холодную часть года при значительной влажности воздуха под слоем инверсии могут развиваться слоистые и слоисто-кучевые облака, имеющие вид сплошного слоя, иногда со слабыми осадками. Для антициклонов характерно образование радиационных туманов в любое время года.

3.1. Облачная система теплого фронта

Облачная система теплого фронта располагается впереди приземной линии фронта вдоль клина холодной воздушной массы, где восходящие движения теплого воздуха наиболее интенсивны. Наибольшего развития система облаков достигает вблизи центра циклона, ее ширина в этой области составляет несколько сотен километров, а толщина — несколько километров. По мере удаления от центра циклона вдоль линии теплого фронта восходящие движения ослабевают, в облачных системах образуются разрывы, постепенно прекращается выпадение осадков.

Основными составляющими облачной системы теплого фронта являются облака Ci и Cs—As—Ns, под которыми в зоне выпадающих осадков наблюдаются разорванные слоистые облака (St fr.), часто смыкающиеся в сплошной покров. Перистые и перисто-слоистые облака нередко представляют собой самостоятельный слой, верхняя граница которого располагается под тропопаузой.

При продвижении теплого фронта изменение форм и высоты облаков происходит в определенной последовательности (рис. 3.4—3.6). На расстоянии примерно 800—900 км перед фронтом наблюдаются перистые когтевидные облака (Ci unc.), сменяющиеся перисто-слоистыми (Cs), на



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 3.4. Типичный вид *перистых когтевидных* облаков (Ci unc.), предшествующих теплomu фронту. Облака имеют нитевидную структуру, расположены под небольшим углом к горизонту параллельными грядами и имеют на верхних концах загибы в виде коготков.

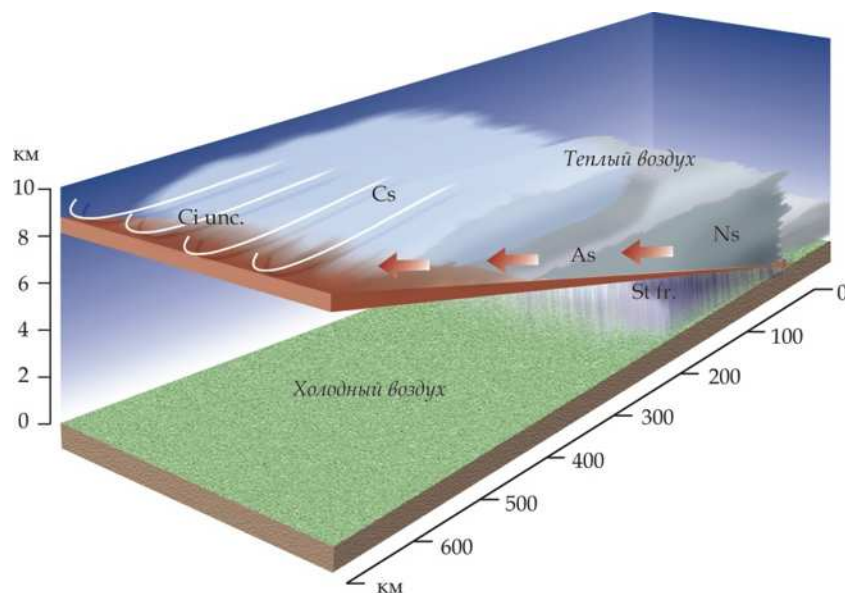


Рис. 3.5. Схема облачной системы теплого фронта.

которых нередко наблюдается явление гало. На расстоянии около 600 км от линии фронта перисто-слоистые облака сменяются высокостристыми — сначала высокостристыми просвечивающими (As trans.), затем постепенно уплотняющимися и переходящими в высокостристые плотные (As op.), из которых могут выпадать осадки, чаще всего не достигающие до поверхности Земли и хорошо различимые в виде полос

падения. На расстоянии 300—400 км перед фронтом высокостристые облака сменяются слоисто-дождевыми (Ns), начинается выпадение осадков. Ширина полосы осадков составляет 200—300 км и более, причем ночью полоса может быть шире, чем днем. Летом часть выпадающих осадков испаряется и не достигает поверхности Земли. Зимой выпадение снега перед теплым фронтом часто сопровождается метелями. В ряде случаев перед фронтом и за ним наблюдаются туманы.

Летом над материками система слоистобразных облаков As—Ns развита незначительно, и перед фронтом часто не наблюдается сплошного слоя облаков. Отмечаются высококучевые облака (Ac), днем развиваются кучевые (Cu), а иногда и кучево-дождевые (Cb) облака, из которых выпадают ливневые осадки. Развитие кучево-дождевых облаков может сопровождаться грозами и шквалистым ветром. Зимой осадки из высокостристых облаков (As) могут достигать поверхности Земли, а также стимулировать выпадение осадков из системы облаков теплого сектора — слоистых и слоисто-кучевых (St — Sc). В таком случае значительно расширяется (до 400 км и более) зона осадков в области фронта.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

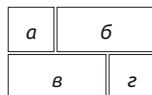
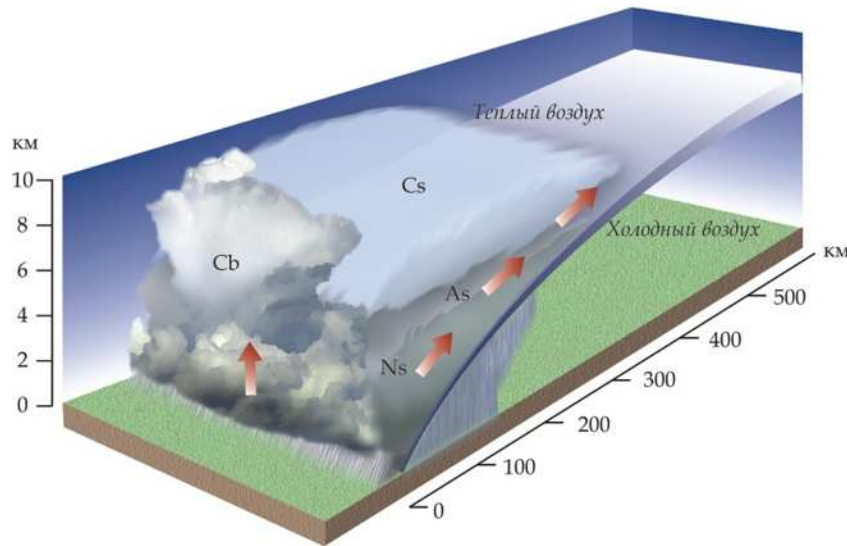


Рис. 3.6. Смена облачности при прохождении теплого фронта.

а — Ci unc. перед теплым фронтом сменяются тонким слоем Cs , различить которые можно лишь по части гало; б — небо закрыто однородной пеленой Cs neb., на которых наблюдается полукруг гало; вблизи горизонта отчетливо различим более темный и плотный слой надвигающихся As ; в — хорошо виден переход от Cs через As , сквозь которые в виде размытого пятна просвечивает солнце, к Ns , нижняя граница которых размыта интенсивными осадками, заметно ухудшающими видимость на горизонте; з — небо полностью закрыто Ns , из которых выпадает снег.

3.2. Облачные системы холодных фронтов

Рис. 3.7. Схема облачной системы холодного фронта I рода.



Поверхность холодного фронта отличается от поверхности теплого гораздо большей крутизной в нижней части, поэтому в зоне перед фронтом развиваются мощные восходящие движения теплого воздуха, приводя-

щие к образованию кучево-дождевых облаков (Cb).
Выделяют два типа холодных фронтов: медленно движущиеся холодные фронты I рода и быстро движущиеся холодные фронты II рода. В случае холодного фронта I рода холодная воздушная масса медленно вытесняет расположенную над ней теплую массу, которая совершает восходящее скольжение по клину холодного воздуха. При этом образуется система облаков, представляющая собой зеркальное отражение облачной системы теплого фронта. Ввиду большей крутизны холодного фронта эта система облаков имеет значительно меньшую горизонтальную и вертикальную протяженность по сравнению с облачной системой теплого фронта. Над движущейся с большей скоростью поверхностью холодного фронта II рода развиваются нисходящие движения воздуха, препятствующие образованию слоистообразных облаков, а восходя-

щие движения существуют лишь в очень узкой зоне непосредственно вблизи линии фронта.

Облачная система холодного фронта I рода

Основными составляющими такой системы являются слоисто-дождевые (Ns), высокослоистые (As) и перисто-слоистые (Cs) облака. Непосредственно перед фронтом могут наблюдаться кучево-дождевые облака (Cb), с которыми связаны ливневые осадки, а летом грозы со шквалистым ветром. За линией фронта кучево-дождевые облака сменяются слоисто-дождевыми, а ливневые осадки — обложными. В зоне выпадения осадков наблюдаются слоистые разорванные (St fr.) и кучевые разорванные (Cu fr.) облака плохой погоды, которые могут полностью маскировать систему облаков холодного фронта. По мере удаления от фронта появляются высокослоистые (As), а затем и перисто-слоистые (Cs) облака (рис. 3.7). Нередко система слоистообразных облаков Ns—As—Cs сильно расслоена. Наиболее характерен холодный фронт I рода для холодного времени года, когда с его прохождением связаны



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 3.8. Высококучевые чечевицеобразные облака (Ac lent.) перед холодным фронтом. На заднем плане видна передняя часть фронтальной облачной системы и кучевые облака (Cu), образовавшиеся в результате динамической конвекции.

ливневые снегопады и метели. В теплое время года чаще наблюдается холодный фронт II рода.

Облачная система холодного фронта II рода

Основной формой облаков этой системы являются кучево-дождевые облака (Cb), которые имеют вид узкой полосы непосредствен-

но перед линией фронта (рис. 3.8—3.11). Ширина зоны, в которой наблюдаются кучево-дождевые облака и выпадают ливневые осадки, составляет несколько десятков километров. Длина облачного вала достигает сотен километров, причем этот вал может быть несплошным.

Днем в результате прогрева подстилающей поверхности конвективные движения воздуха усиливаются, поэтому наибольшего развития облачность и осадки в зоне холодного фронта над сушей достигают в послеполуденные часы, а ночью, при ослаблении конвекции, облака имеют меньшую мощность. Предвестником приближения холодного фронта могут служить перисто-кучевые чечевицеобразные (Cc lent.) и высококучевые чечевицеобразные (Ac lent.) облака, которые образуются при растекании кучево-дождевых облаков (см. рис. 3.8). Непосредственно перед фронтом может наблюдаться слой слоисто-кучевых облаков (Sc), а в зоне выпадающих ливневых осадков под кучево-дождевыми облаками — разорванные слоистые (St fr.) и разорванные кучевые (Cu fr.) облака. Прохождение холодного фронта нередко сопровождается грозами и шквалами, за фронтом быстро наступает прояснение.

Рис. 3.9. Схема облачной системы холодного фронта II рода.

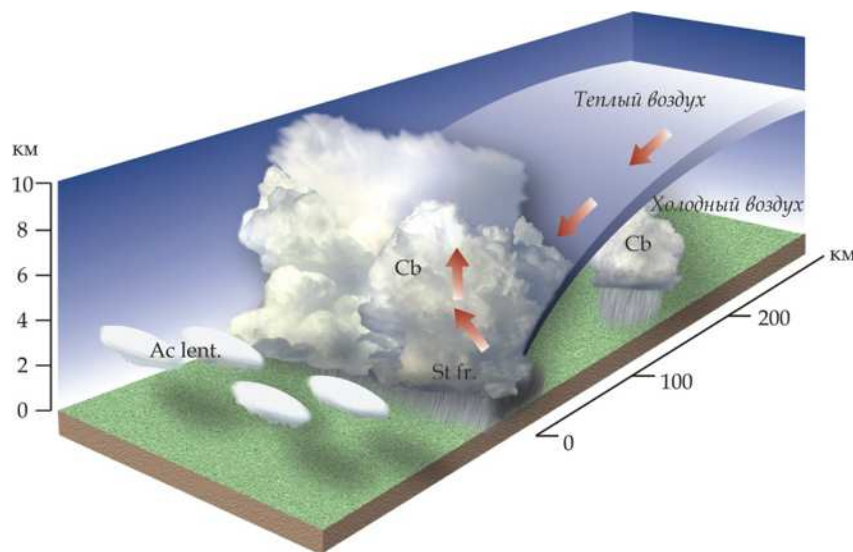


ФОТО О. АНДРЕЕВА



ФОТО О. АНДРЕЕВА



Рис. 3.10. Облачные системы холодного фронта II рода в виде выстроенных в ряд кучево-дождевых облаков (Cb), из которых выпадают ливневые осадки.

3.3. Облачные системы фронтов окклюзии

Фронты окклюзии образуются в результате слияния фронтов и поэтому имеют черты как теплого, так и холодного фронта (рис. 3.11). Наиболее характерны они для циклона в стадиях максимального развития и заполнения. В системе фронта окклюзии

взаимодействуют три воздушные массы (две холодные и теплая). При слиянии теплого и холодного фронта теплый воздух вытесняется вверх и не соприкасается с поверхностью Земли. Поэтому у земной поверхности в зоне фронта окклюзии теплый сек-

Рис. 3.11. Передняя часть облачной системы фронта окклюзии, в которой наряду с *высококучистыми волнистыми облаками (As und.)* присутствуют *перисто-кучевые облака (Cc)*.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



тор циклона отсутствует, и фронт фактически разделяет две холодные воздушные массы — более холодную и менее холодную.

Различают теплый и холодный фронт окклюзии. В первом случае менее холодный воздух приходит на смену более холодному; при этом холодный фронт поднимается по клину теплого фронта, образуя верхний фронт, линия которого располагается впереди приземной линии. Во втором случае более холодный воздух приходит на смену менее холодному, клин холодного фронта располагается под теплым фронтом, линия верхнего фронта находится позади приземной линии фронта окклюзии.

Облачные системы фронтов окклюзии являются результатом объединения облачных систем теплого и холодного фронтов и образуются по обе стороны от приземной линии фронта; для них характерно наибольшее разнообразие в чередовании форм облаков.

Облачная система теплого фронта окклюзии

Теплые фронты окклюзии чаще наблюдаются в холодное время года и образуются в основном при слиянии теплого фронта и

холодного фронта I рода (рис. 3.12). Для них наиболее типична система перистых (Ci) и перисто-слоистых, высокостроистых и слоисто-дождевых облаков (Cs—As—Ns), которая располагается как над теплой, так и над холодной ветвью фронта. Вблизи линии фронта могут развиваться кучево-дождевые облака (Cb), и в этом случае обложные осадки сменяются ливневыми, а затем могут снова перейти в обложные. В

Рис. 3.12. Схема облачной системы теплого фронта окклюзии.

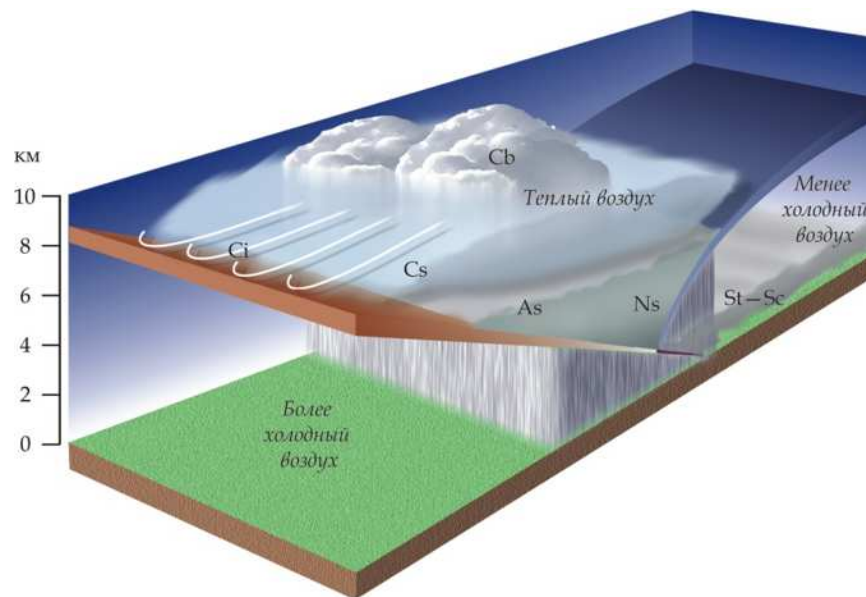
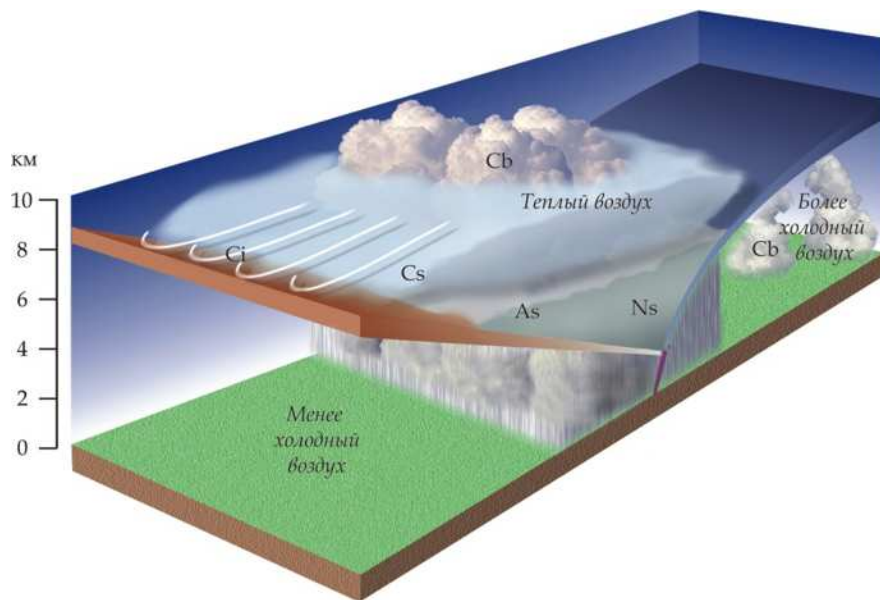


Рис. 3.13. Схема облачной системы холодного фронта окклюзии.



зоне выпадения осадков наблюдаются слоисто-кучевые (Sc) и слоистые (St) облака, в том числе и слоистые разорванные (St fr.). Характерным для фронта окклюзии является сочетание высокослоистых (As) и высококучевых (Ac) облаков. Зимой при прохождении теплого фронта окклюзии ширина зоны осадков может превышать 300 км, иногда наблюдаются метели. В зоне фронта

велика повторяемость туманов, особенно в ночное время.

Облачная система холодного фронта окклюзии

Холодные фронты окклюзии наиболее типичны для лета, в их образовании участвуют теплый фронт и холодный фронт II рода (рис. 3.13). В случае холодного фронта окклюзии на смену системе слоистообразных облаков теплого фронта Cs—As—Ns приходят кучево-дождевые облака (Cb), обложные осадки сменяются ливневыми, нередко наблюдаются грозы. Иногда в зоне выпадения осадков образуются разорванные кучевые (Cu fr.) и разорванные слоистые (St fr.) облака. При кратковременных ночных прояснениях в зоне холодного фронта окклюзии часто наблюдаются туманы.

Облачные системы молодых фронтов окклюзии мало отличаются по строению, вертикальной и горизонтальной протяженности от систем облаков теплых и холодных фронтов. В заполняющихся циклонах и вдали от центра развитого циклона протяженность облачной системы фронтов окклюзии меньше, облачность сильно расслоена и имеет разрывы.

Глава 4. Атлас облаков

Облака являются одним из самых интересных, красочных и вместе с тем информативных атмосферных явлений. Наблюдая за ними, можно узнать о физических процессах, происходящих в атмосфере, а иногда и предсказать их изменения в дальнейшем.

Для того, чтобы наиболее точно определить форму облака, следует учитывать его происхождение и развитие, степень прозрачности и наблюдаемые в нем световые (оптические) явления, а также выпадающие осадки и их характер (продолжительность, интенсивность).

Наблюдения за облаками сложно производить вечером и ночью, поскольку при разном освещении одни и те же формы облаков выглядят по-разному. Для того, чтобы правильно определить форму облаков в темное время суток, необходимо следить за всеми изменениями облачности в течение дня. После захода солнца при определении фор-

мы облаков следует учитывать их цвет: облака верхнего яруса обычно имеют более яркую белую окраску, облака среднего яруса — желто-оранжевую, а облака нижнего яруса — темно-серую.

Наибольшее затруднение при наблюдении за облаками может вызвать определение их вида и разновидностей. В качестве наглядного пособия для правильного распознавания облаков следует использовать Атлас облаков, в котором приведены снимки наиболее типичных облаков разных форм, видов и разновидностей.

В приведенном ниже Атласе облаков содержится 84 снимка, сделанных в различных регионах земного шара в разное время года и разное время суток. В подписи к каждому снимку указаны русское и латинское (полное и сокращенное) название облаков (форма, вид, разновидности), а также кратко описаны особенности их внешнего вида.



Рис. 4.1. Перистые нитевидные облака (Cirrus fibratus, Ci fib.)

Тонкие полупрозрачные волокна занимают видимую часть неба. Некоторые волокна почти прямые и параллельны друг другу (1), некоторые немного изогнуты (2). Ближе к горизонту (3) волокна кажутся слившимися в единое поле, без просветов чистого неба, что объясняется эффектом перспективы.



**Рис. 4.2. Перистые
нитевидные облака
(Cirrus fibratus, Ci fib.)**

Облака в виде тонких белых нитей (1, 2) местами сливаются в полупрозрачную пелену (3), в которой также просматривается волокнистая структура. У горизонта виден конденсационный след (4).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.3. Перистые нитевидные радиальные облака (Cirrus fibratus radiatus, Ci fib. rad.)

Длинные тонкие нити перистых нитевидных облаков (Ci fib.) (1, 2, 3) радиально сходятся к горизонту. В (4) заметно неяркое гало. В (5) — гряда кучевых облаков (Cu).



**Рис. 4.4. Перистые
нитевидные
перепутанные
облака (Cirrus fibratus
intortus, Ci fib. int.)**

Тонкие волокна перистых облаков имеют вид разбросанных по небу обрывков белой пряжи (1, 2), местами они свиты в небольшие клубки (3).

ФОТО А. АНДРЕЕВА





ФОТО А. САЕНКО



Рис. 4.5. Перистые нитевидные перепутанные облака (Cirrus fibratus intortus, Ci fib. int.)

Волокна перистых облаков (Ci), переплетаясь, образуют отдельные группы, беспорядочно разбросанные по небу (1–3). В (4, 5) – кучевые облака (Cu) в незначительном количестве.

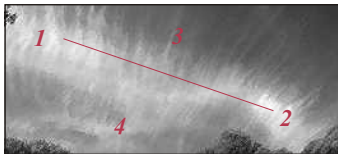


Рис. 4.6. Перистые нитевидные хребтовидные облака
(*Cirrus fibratus vertebratus*, Ci fib. vert.)

Протянувшееся через все небо облако состоит из центральной плотной части (1–2) и простирающихся в обе стороны от нее нитей (3, 4). По-видимому, облако образовалось на оси струйного течения.



Рис. 4.7. Перистые когтевидные облака (Cirrus uncinus, Ci unc.)

Характерный вид фронтальных Ci unc. Волокна облаков расположены практически параллельно друг другу и под небольшим углом к горизонту. Загибы коготков хорошо различимы (1, 2). Некоторые волокна заканчиваются уплотнениями (3, 4), что также является признаком Ci unc.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.8. *Перистые когтевидные радиальные облака (Cirrus uncinus radiatus, Ci unc. rad.)*

Перистые облака имеют вид длинных радиально расходящихся нитей с характерными крючковидными загибами (1, 2) или уплотнениями (3, 4) на концах. Облака постепенно затягивают все небо, что является признаком приближения теплого фронта.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



**Рис. 4.9. Перистые
плотные облака
(Cirrus spissatus, Ci sp.)**

Отдельные ярко-белые облака в центре заметно уплотнены и создают тени (1, 2). Волокнистая структура облаков хорошо заметна на их краях (3).



**Рис. 4.10. Перистые
плотные облака**
(*Cirrus spissatus*, Ci sp.)

Перистое облако с сильно уплотненной ярко-белой центральной частью (1) является остатком наковальни кучево-дождевого облака (Cb). В (2) — полосы падения осадков. Цвет полос падения по мере приближения к поверхности Земли меняется от белого до темно-серого, что объясняется таянием ледяных кристаллов. В (3) — полосы падения осадков из соседнего облака.

ФОТО А. АНДРЕЕВА





**Рис. 4.11. Перистые
плотные облака
(Cirrus spissatus, Ci sp.)**

Плотное перистое облако образовалось при разрушении кучево-дождевого облака (Cb) и сохранило характерную форму наковальни. Облако сильно вытянуто по направлению ветра, нижняя его часть более плотная (1), верхняя имеет вид развевающихся волокон (2, 3).



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 4.12. Перистые плотные облака (*Cirrus spissatus*, *Ci* sp.)

Перистые облака являются остатками наковален кучево-дождевых облаков (Cb) и имеют ярко-белый цвет (3). Нижняя часть облаков сильно сглажена (например, в (5)), верхняя имеет характерную для наковальни волокнистую структуру (2). В (4, 6) видны почти параллельные линии горизонта полосы выпадения осадков. Пелена перистых облаков (Ci) (1), по-видимому, также образовалась при распаде кучево-дождевого облака (Cb).



ФОТО О. АНДРЕЕВА



Рис. 4.13. Перистые башенковидные облака (Cirrus castellanus, Ci cast.)

Массив перистых башенковидных облаков (Ci cast.). Нити, поднимающиеся вверх из общих оснований, например, в 1, 2, 3, свидетельствуют о конвективных процессах в верхнем слое тропосферы.



**Рис. 4.14. Перистые
хлопьевидные облака
(Cirrus floccus, Ci floc.)**

Белые хлопья (1) без теней со следами падения ледяных кристаллов (2), которые испаряются, не достигая поверхности Земли.

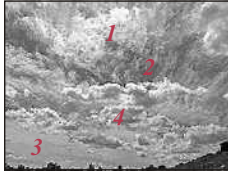


ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.15. *Перистые хлопьевидные облака (Cirrus floccus, Ci floc.) и перистые нитевидные перепутанные облака (Cirrus fibratus intortus, Ci fib. int.)*

Отдельные крупные хлопья перистых хлопьевидных облаков (Ci floc.) со следами падения ледяных кристаллов (1, 2). Перистые перепутанные облака (Ci int.) (3, 4) образовались из таких полос падения, сильно деформированных ветром и потерявшим видимую связь с основным обла-



**Рис. 4.16. Перистые
хлопьевидные облака
(Cirrus floccus, Ci floc.)**

Большая часть небосвода занята достаточно крупными сливающимися хлопьями перистых хлопьевидных облаков (Ci floc.) (например, в (1)). Полосы падения осадков, например, в (2), направлены к земле под небольшим углом к горизонту. В (3) — слой перисто-слоистых облаков (Cs). В (4) — относящиеся к нижнему слою кучевые облака (Cu).

ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.17. Перистые хлопьевидные облака (Cirrus floccus, Ci floc.)

Из крупных хлопьев перистых облаков, беспорядочно разбросанных по небу, тянутся полосы падения ледяных кристаллов в общем направлении 1–2. Значительный наклон полос падения является следствием сильного ветра в верхних слоях тропосферы. В 3, 4 — кучевые разорванные облака (Cu fr.).



Рис. 4.18.
*Перисто-кучевые
слоистообразные
волнистые облака*
(Cirrocumulus
stratiformis undulatus,
Cc str. und.)

Белые облака без серых оттенков тонким слоем закрывают видимую часть небосвода. Облака имеют вид хорошо выраженных волн, например, в (1), или тонкой ряби (2).

ФОТО А. АНДРЕЕВА



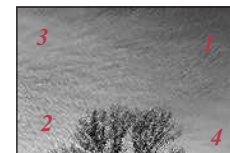


Рис. 4.19.
*Перисто-кучевые
слоистообразные
волнистые облака*
(*Cirrocumulus*
stratiformis undulstus,
Cc str. und.)

Вся видимая часть неба закрыта слоем перисто-кучевых облаков (Cc). Элементы Cc на отдельных участках имеют разные размеры — от мелких (1) до более крупных (2), в (3) элементы облаков сгруппированы в ряды, в (4) — сливаются в единый массив без видимых просветов.



Рис. 4.20.
*Перисто-кучевые
слоистообразные
дырявые облака*
(Cirrocumulus
stratiformis lacunosus,
Cc str. lac.)

Слой высоких белых облаков закрывает всю видимую часть небосвода. На облаках хорошо различимы сквозные просветы (1, 2). Причиной образования этих облаков является ячейковая циркуляция в верхней тропосфере.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.21.
Перисто-кучевые
чечевицеобразные
облака (Cirrocumulus
lenticularis, Cc lent.)

Белые без теней облака миндалевидной формы (1), внутри которых наблюдается тонкая рябь (2), являющаяся следствием волновых процессов меньшего масштаба.



Рис. 4.22.
*Перисто-кучевые
башенковидные облака*
(Cirrocumulus
castellanus, Cc cast.)

Волны тонких бело-голубых перисто-кучевых облаков (Cc) протянулись вдоль дуги (1–2). На них отчетливо различимы небольшие закругленные выступы, что является признаком башенковидных облаков.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



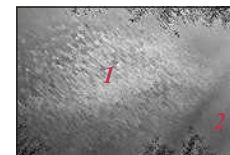


Рис. 4.23.
Перисто-кучевые
хлопьевидные облака
(Cirrocumulus floccus,
Cc flocc.)

Группа белых полупрозрачных хлопьев перисто-кучевых облаков (Cc) примерно равных размеров (1) на фоне тонкой пелены перисто-слоистых облаков (Cs) (2).



Рис. 4.24. Перисто-слоистые нитевидные облака (Cirrostratus fibratus, Cs fibr.)

Тонкая белесая пелена перисто-слоистых облаков (Cs) с хорошо различимой нитевидной структурой полностью закрывает небо. В (1) видна нижняя часть гало радиусом 22° . У горизонта в левой и центральной части снимка (2, 3) — кучевые облака (Cu).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.25.
*Перисто-слоистые
нитевидные облака*
(Cirrostratus fibratus,
Cs fibr.)

Тонкая голубоватая пелена перисто-слоистых облаков (Cs), волокнистое строение которых хорошо прослеживается в (1, 2). На облаках видна полуокружность гало (3).



Рис. 4.26.
*Перисто-слоистые
нитевидные облака*
(Cirrostratus fibratus,
Cs fibr.)

Часть облачной системы
теплого фронта: высокие
белесые перисто-слоис-
тые облака (Cs) (1) сме-
няются более низкими и
темными высокослоис-
тыми волнистыми обла-
ками (As fibr.) (2). Перис-
то-слоистые облака име-
ют хорошо выраженную
нитевидную структуру,
например, в (3). На
Cs fibr. различимы части
гало (1, 4).

ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.27.
***Перисто-слоистые
туманообразные
облака Cirrostratus
nebulosus, Cs neb.)***

На однородной пелене перисто-слоистых туманообразных облаков (Cs neb.), окрашенных лучами восходящего солнца, различима полукруглость гало (1).



Рис. 4.28.
*Перисто-слоистые
волнистые облака*
(Cirrostratus undulatus,
Cs und.)

Тонкая белесая пелена перисто-слоистых облаков (Cs) со слабо выраженной волнистой структурой. Волны наиболее хорошо заметны в (1, 2). Одинаковая оптическая толщина слоя является признаком Cs.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.29. Высококучевые слоистообразные просвечивающие облака
(*Altostratus stratiformis translucidus*, Ac str. trans.)

Слой высококучевых облаков (Ac) закрывает видимую часть небосвода. Элементы облаков в виде крупных пластин выстроены грядами, в просветы между которыми видно голубое небо (1–2). Тонкий слой облаков позволяет определить местоположение солнца (3), что является признаком Ac trans.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.30. Высококучевые слоистообразные просвечивающие облака (Altostratus stratiformis translucidus, Ac str. trans.)

Слой высококучевых облаков (Ac) полностью закрывает видимую часть неба, но позволяет определить положение солнца (1). Элементы облаков имеют вид пластин неправильной формы и различных размеров (1, 2). В просветах между элементами видно голубое небо, местами облака сливаются в почти сплошной покров (3).



Рис. 4.31. Высококучевые слоистообразные просвечивающие двойные облака (Altostratus stratiformis translucidus duplicatus, Ac str. trans. du.)

Два близко расположенных слоя высококучевых просвечивающих облаков (Ac trans.) находятся один над другим. Нижний слой (1) более затенен, верхний (2) — освещен лучами заходящего солнца. Элементы облаков достаточно прозрачны, что позволяет определить местоположение солнца.

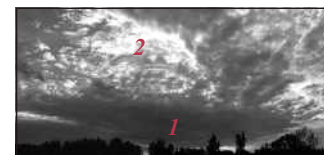




Рис. 4.32.
*Высококучевые
слоистообразные
просвечивающие
облака (Altostratus
stratiformis
translucidus,
Ac str. trans.)*

Слой высококучевых облаков (Ac) состоит из элементов примерно одинаковых размеров и формы. Сквозь облака просвечивает солнце (1). Над слоем Ac расположен слой перисто-слоистых облаков (Cs), обнаружить который можно по части гало (2).

ФОТО А. САЕНКО





ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.33.
Высококучевые
слоистообразные
с просветами
радиальные облака
(Altostratus stratiformis
perlucidus radiatus,
As str. per. rad.)

Слой облачности состоит из мелких элементов, радиально сходящихся к горизонту. Сквозь просветы между элементами хорошо видно голубое небо. От схожих по виду Сс эти облака отличает наличие теней (1), указывающих на водный состав облаков. В (2) вблизи горизонта — более низкий слой Ас.



ФОТО А. АНДРЕЕВА

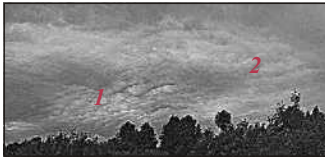


Рис. 4.34. Высококучевые слоистообразные непросвечивающие облака (Altostratus stratiformis opacus, Ac str. op.)

Сплошной серый без просветов слой высококучевых облаков (Ac). Нижняя поверхность Ac op. неровная, на ней хорошо заметна волнистая структура (1, 2). Солнце сквозь эти облака не просвечивает.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.35.
*Высококучевые
слоистообразные
волнистые облака*
(*Alto cumulus*
stratiformis undulatus,
Ac str. und.)

Слой темных плотных высококучевых облаков (Ac) с ярко выраженной волнистой структурой (1, 2), рельеф которой подчеркивается косым солнечным освещением.



Рис. 4.36.
*Высококучевые
слоистообразные
дырявые облака*
(Alto cumulus
stratiformis lacunosus,
Ac str. lac.)

В слое высококучевых облаков (Ac) хорошо видны сквозные отверстия с рваными краями (1, 2), сквозь которые просвечивает голубое небо.

ФОТО А. АНДРЕЕВА





ФОТО А. АНДРЕЕВА

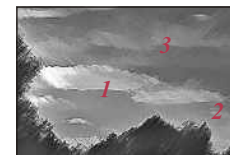


Рис. 4.37.
Высококучевые
чечевицеобразные
облака (Altocumulus
lenticularis, Ac lent.)

Высококучевые облака (Ac) миндалевидной формы. Более плотная затененная центральная часть облаков (1) окружена волокнистой каймой (2). В (3) — более высокие перистые облака (Ci).



Рис. 4.38.
Высококучевые
чечевицеобразные
облака (Alto cumulus
lenticularis, Ac lent.)

Высококучевые облака (Ac) имеют характерную овальную форму (1, 2) с четко очерченным контуром. Отдельные кучевые облака (Cu), расположенные на нижнем уровне, видны в (3, 4).

ФОТО А. АНДРЕЕВА





Рис. 4.39.
Высококучевые
башенковидные
облака (Alto cumulus
castellatus, Ac cast.)

Гряды белых облаков с общим основанием, имеющие в верхней части кучевообразные выступы, расположенные ровными рядами (1, 2). При разрушении Ac cast. образовались высококучевые хлопьевидные облака (Ac floc.) (3, 4).



Рис. 4.40.
*Высококучевые
хлопьевидные облака*
(*Alto cumulus floccus*,
Ac floc.)

Высококучевые облака (Ac) в виде отдельных хлопьев (например, в (1, 2)) подсвечены заходящим солнцем. В (3) — полосы башенковидных облаков (*Ac cast.*).

ФОТО А. САЕНКО



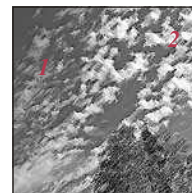


Рис. 4.41.
Высококучевые
хлопьевидные облака
(Altostratus floccus,
Ac floc.)

Высококучевые облака (Ac) в виде беспорядочно разбросанных по небу хлопьев с сильно разорванными краями. Элементы облаков заметно отличаются друг от друга по размерам и форме (например, в (1, 2)).

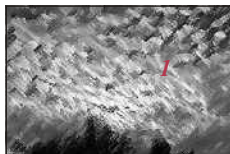


Рис. 4.42.
Высококучевые
хлопьевидные облака
(Alto cumulus floccus,
Ac floc.)

Несмотря на то, что элементы высококучевых облаков (Ac) образуют единый слой, их следует распознавать как хлопьевидные, поскольку они имеют характерный вид хлопьев с явными признаками вертикального развития, белыми вершинами и разорванными основаниями (например, в (1)).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.43. Высококучевые хлопьевидные облака с полосами падения
(Alto cumulus floccus virga, Ac floc. vir.)

Из разрозненных хлопьев высококучевых облаков (Ac) разных размеров тянутся длинные белые нити полос падения осадков. Полосы сильно деформированы ветром и располагаются почти параллельно горизонту (1, 2). Светлые полосы (3—4) также являются следами выпадения осадков из Ac.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.44. *Высококучевые хлопьевидные облака с полосами падения (Altostratus floccus virga, Ac flocc. vir.) и перисто-кучевые хлопьевидные облака с полосами падения (Cirrocumulus floccus virga, Cc flocc. vir.)*

Небо усеяно хлопьями высококучевых хлопьевидных (Ac flocc.) (1, 2) и перисто-кучевых хлопьевидных (Cc flocc.) облаков (3, 4), из которых выпадают осадки, различимые в виде полос падения, направленных к земле.



ФОТО А. САЕНКО

Рис. 4.45. Высококучевые слоистообразные с просветами облака с полосами падения (Altostratus stratiformis perlucidus virga, Ac str. per. vir.)

Высококучевые слоистообразные облака с просветами (Ac str. per.) закрывают значительную часть небосвода. Заходящее солнце по-разному окрашивает различные части облаков. Хорошо различима нижняя поверхность отдельных элементов облаков и клубящиеся полосы падения осадков под облаками (1, 2).





ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.46. *Высококучевые облака, образовавшиеся из кучевых (Altostratus cumulogenitus, Ac sug.), и кучево-дождевое волосатое облако (Cumulonimbus capillatus, Cb cap.)*

Белые кучевообразные массы высококучевых облаков (Ac) (1) образовались при растекании вершины кучево-дождевого облака (Cb) (2). В (3) хорошо видна темная полоса ливневых осадков, выпадающих из Cb.



Рис. 4.47. Высочислостые просвечивающие волнистые облака
(Altostratus translucidus undulatus, As trans. und.)

Серый плотный слой высочислостых облаков (As), на котором хорошо различимы волны (1). Сквозь As просвечивает солнце в виде яркого пятна с размытыми краями. Под слоем As — слоистые разорванные облака (St fr.) (2).





Рис. 4.48. *Высокослоистые волнистые радиальные облака (Altostratus undulatus, As und. rad.) и перисто-слоистые туманообразные облака (Cirrostratus nebulosus, Cs neb.)*

Высокослоистые облака (As) в виде радиальных сходящихся волн (1) на фоне однородной пелены перисто-слоистых туманообразных облаков (Cs neb.) (2). На Cs neb. — едва заметное гало в виде светлого полукруга (3).



ФОТО А. АНДРЕЕВА

Рис. 4.49. Высочеслоистые облака, дающие осадки (Altostratus praecipitans, As prae.)

В зимнее время из высочеслоистых облаков (As) нередко выпадают осадки, доходящие до поверхности Земли. На снимке на фоне просвечивающего сквозь As солнца хорошо заметны отдельные падающие снежинки (1, 2).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.50. *Высокослоистые непросвечивающие облака (Altostratus opacus, As op.)*

Плотный серый слой высокослоистых облаков (As) полностью закрывает небо, определить положение солнца невозможно. Тени наземных предметов отсутствуют. Под слоем As видны полосы падения осадков, не достигающих до поверхности Земли (1), и клочья более темных слоистых разорванных облаков (St fr.) (2, 3).



Рис. 4.51. Высокослоистые непросвечивающие облака (*Altostratus opacus*, *As op.*) и слоисто-дождевые облака (*Nimbostratus*, *Ns*)

Облачная система теплого фронта: небосвод закрыт слоем плотных высокослоистых непросвечивающих облаков (*As op.*) (1). У горизонта вдоль (3–4) видна линия надвигающихся слоисто-дождевых облаков (*Ns*), под которыми хорошо различимы полосы выпадения осадков. В (2) – слоистые разорванные облака (*St fr.*).





ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.52. *Высокослоистые непросвечивающие облака (Altostratus opacus, As op) и слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns)*

Плотный слой облаков полностью закрывает небосвод. В (1) — более высокие и светлые высокослоистые облака (As), в (2) — темные низкие слоисто-дождевые (Ns) облака, под которыми видны клочья слоистых разорванных облаков (St fr.) (3).



Рис. 4.53. Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns)

Темно-серый плотный слой низких слоисто-дождевых облаков (Ns). Выпадающий снег заметно уменьшает горизонтальную видимость и размывает основание Ns (например, в (1)). Под Ns – слоистые разорванные облака (St fr.) (2).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.54. Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns), слоистые разорванные облака (Stratus fractus, St fr.) и кучевые разорванные облака (Cumulus fractus, Cu fr.)

Прохождение слоисто-дождевого облака (Ns) сопровождается выпадением обложных осадков. Полосы выпадения осадков видны, например, в (1). Под основанием Ns наблюдаются темные кучевые разорванные облака (Cu fr.) (2, 3) и слоистые разорванные облака (St fr.) (4) плохой погоды в виде клочьев.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.55.
*Слоисто-дождевые
облака*
(Nimbostratus, Ns)

Интенсивный обложной дождь из Ns значительно уменьшает горизонтальную видимость (2) и скрывает основание облака (1).



Рис. 4.56.
Слоисто-дождевые
облака
(Nimbostratus, Ns)

Типичная картина зимних слоисто-дождевых облаков (Ns). Обложные осадки в виде частых мелких снежинок образуют бледную мглу, которая скрывает нижний край Ns. Снежинки почти не заметны на фоне неба, но хорошо различимы на фоне темных деревьев (1). Видимость (не более 200 м) уменьшилась из-за значительной интенсивности осадков (2).

ФОТО А. АНДРЕЕВА





**Рис. 4.57. Слоистые
туманообразные
облака — Stratus
nebulosus (St neb.)**

Облака теплого сектора
циклона. Из серых одно-
родных слоистых обла-
ков (St) выпадают осадки
в виде мороси, заметные
в свете фонарей (1–2).



**Рис. 4.58. Слоистые
туманообразные
облака (Stratus
nebulosus, St neb.)**

Серый однородный слой слоистых облаков (St) закрывает вершины прибрежного горного массива (1). Высота нижней границы облаков заметно изменяется от (1) до (2).

ФОТО В. БОЯРСКОГО





ФОТО А. АНДРЕЕВА



**Рис. 4.59. Слоистые
туманообразные
облака (Stratus
nebulosus, St neb.)**

Очень низкие серые облака (1) не пропускают солнечный свет, приглушают все цвета и даже днем создают ощущение сумерек.



Рис. 4.60. Слоистые волнистые облака (Stratus undulatus, St und.)

Серый низкий слой облаков. В основании облаков просматриваются волны в виде чередования светлых (1, 2) и темных (3, 4) полос.



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.61. Слоисто-кучевые слоистообразные просвечивающие радиальные облака (Stratocumulus stratiformis translucidus radiatus, Sc str. trans. rad.)

Плотные серые слоисто-кучевые облака (Sc) с четко очерченной нижней поверхностью в виде радиальных, сходящихся к горизонту гряд (1, 3), в просветах между которыми видно голубое небо (2, 4), имеют вид слоя, закрывающего видимую часть небосвода.





Рис. 4.62.
*Слоисто-кучевые
слоистообразные
просвечивающие
облака (Stratocumulus
stratiformis translucidus,
Sc str. trans.)*

Слой слоисто-кучевых облаков (Sc) состоит из больших элементов неправильной формы (1), в промежутках между ними видно голубое небо (2).

ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.63. Слоисто-кучевые слоистообразные просвечивающие облака (Stratocumulus stratiformis translucidus, Sc str. trans.)

Слой слоисто-кучевых облаков (Sc) состоит из отдельных темно-серых пластин, разделенных просветами, сквозь которые видно голубое небо (например, в (1)). В (2) видна граница слоя Sc.





Рис. 4.64.
Слоисто-кучевые
слоистообразные
непросвечивающие
облака (Stratocumulus
stratiformis opacus,
Sc str. op.)

Неоднородный слой темно-серых плотных слоисто-кучевых облаков (Sc) без просветов. На нижней поверхности Sc op. различимы более темные валы (1, 2).

ФОТО А. АНДРЕЕВА





Рис. 4.65
Слоисто-кучевые
слоистообразные
непросвечивающие
волнистые облака
(Stratocumulus
stratiformis opacus
undulatus,
Sc str. op. und.)

Плотный серый без просветов слой слоисто-кучевых облаков (Sc) полностью закрывает небо. Нижняя поверхность облаков состоит из отдельных валов (например, в (1, 2), расположенных в виде волн. Неровности рельефа облаков подчеркнуты тенями.



Рис. 4.66.
*Слоисто-кучевые
башеновидные облака*
(Stratocumulus
castellanus, Sc cast.)

На протяженном общем основании слоисто-кучевых облаков (Sc) развиваются кучевообразные башенки (например, в (1, 2)), свидетельствующие о развитии конвекции в нижнем слое тропосферы.

ФОТО А. САЕНКО





Рис. 4.67. Слоисто-кучевые облака из кучевых (Stratocumulus cumulogenitus, Sc cug.)

Слоисто-кучевые облака (Sc) образовались из кучевых средних облаков (Cu med.), вертикальное развитие которых остановлено слоем инверсии. Растекаясь, облака сливаются в единые валы (1, 2) большой горизонтальной протяженности. Ближе к горизонту различимы отдельные кучевые средние облака (Cu med.) (3), принадлежащие к этому же слою.



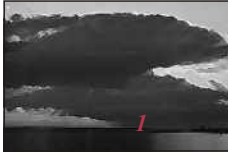


Рис. 4.68.
Слоисто-кучевые
облака
из кучево-дождевых
(Stratocumulus
cumulonimbogenitus,
Sc sug.)

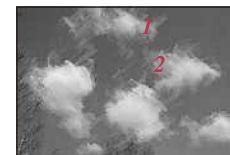
Вечером при ослаблении конвекции кучево-дождевые облака (Cb) растекаются под слоем инверсии, при этом образуется протяженный слой слоисто-кучевых облаков (Sc). В (1) — осадки под основанием растекающегося кучево-дождевого облака.

ФОТО А. САЕНКО





ФОТО А. АНДРЕЕВА



**Рис. 4.69. Кучевые
разорванные облака
(Cumulus fractus, Cu fr.)**

Облака хорошей пого-
ды — отдельные кучевые
облака (Cu) с тонкими
разорванными краями
(1, 2). Облака имеют не-
большую горизонталь-
ную протяженность, при-
знаки вертикального
развития отсутствуют.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.70. Кучевые разорванные облака (*Cumulus fractus*, Cu fr.)

Облака плохой погоды — отдельные, беспорядочно разбросанные по небу, темные кучевые облака (Cu) с разорванными краями (например, в (1–3)) и клочья слоистых разорванных облаков (St fr.) (4), образовавшиеся под слоем высокослоистых просвечивающих облаков (As trans).



Рис. 4.71. Кучевые плоские облака (*Cumulus humilis*, Cu hum.) и кучевые разорванные облака (*Cumulus fractus*, Cu fr.)

Типичные облака хорошей погоды — плоские кучевые (Cu hum.) (например, в (1, 2)) со сглаженной вершиной и без признаков вертикального развития и небольшие разорванные кучевые (Cu fr.) (3, 4) облака.





Рис. 4.72. *Кучевые плоские облака (Cumulus humilis, Cu hum.), кучевые средние облака (Cumulus mediocris, Cu med.) и кучевые разорванные облака (Cumulus fractus, Cu fr.)*

Летом в дневные часы можно наблюдать кучевые облака (Cu) в разной степени развития — кучевые средние облака (Cu med.) (например, в (1)), кучевые плоские (Cu hum.) (2) и кучевые разорванные (Cu fr.) (3).



ФОТО О. АНДРЕЕВА



Рис. 4.73. Кучевые средние облака (Cumulus mediocris, Cu med.)

Поле кучевых средних облаков (Cu med.) с умеренным развитием по вертикали. Клубящиеся вершины облаков (например, в (1, 2)) свидетельствуют о дальнейшем развитии конвекции. В (3) — небольшое количество перистых облаков (Ci).



ФОТО О. АНДРЕЕВА

Рис. 4.74. Кучевые средние облака (*Cumulus mediocris*, *Cu med.*)

Поле кучевых средних облаков (*Cu med.*) – картина, характерная для летнего дня. Основания облаков темные, белые клубообразные вершины (2, 3) непрерывно меняют свои очертания. Дальнейшее развитие конвекции может привести к образованию кучевых мощных облаков (*Cu cong.*). В (1, 4) – отдельные кучевые разорванные облака (*Cu fr.*).





Рис. 4.75. Кучевые мощные облака
(Cumulus congestus, Cu cong.)

Развитие конвекции при отсутствии задерживающих слоев приводит к росту конвективной облачности и образованию кучевых мощных облаков (Cu cong.) (1, 2). Вершина Cu cong. сдвинута ветром (3). В (4) — отдельные кучевые средние облака (Cu med.).

ФОТО А. АНДРЕЕВА





Рис. 4.76. Кучевые мощные облака
(Cumulus congestus, Cu cong.).

Гряда хорошо развитой конвективной облачности. На переднем плане — кучевое мощное облако с темным основанием (1) и клубящейся белой вершиной с четкими очертаниями (2).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



ФОТО О. АНДРЕЕВА

Рис. 4.77. Кучевые мощные облака (Cumulus congestus, Cu cong.)

Гряды внутримассовых кучевых мощных облаков (CU cong.) с темным основанием и растущими белыми вершинами (например, в (1)). Хорошо видны полосы выпадения осадков из облаков, расположенных у горизонта (2) и на переднем плане (3). Под основаниями Cu cong. — отдельные кучевые разорванные облака (Cu fr.) (4). Дальнейшее развитие облачности отражено на рис. 4.76.



ФОТО О. АНДРЕЕВА



Рис. 4.78. Кучево-дождевые лысые облака (Cumulonimbus calvus, Cb calv.)

Конвективные облака расположены параллельными грядами. На переднем плане — формирование кучево-дождевого облака (Cb) из кучевого мощного (Cu cong.). Вершины облака (1, 2) ярко-белого цвета, что указывает на их ледяной состав. Облако еще не имеет волокнистой структуры, но его вершины уже имеют сглаженные очертания, что является признаком кучево-дождевого лысого облака.

ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.79. Кучево-дождевые лысые облака (Cumulonimbus calvus, Cb calv.)

Сильно протяженная по вертикали горообразная масса кучево-дождевого облака (Cb) имеет темно-серое основание и белоснежную, освещенную солнцем, вершину. Признаком лысого облака являются сглаженные очертания вершины облака (1). В (2, 3) наблюдаются кучевые разорванные облака (Cu fr.).



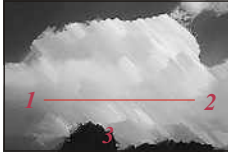


Рис. 4.80.
*Кучево-дождевые
волосатые облака*
(Cumulonimbus
capillatus, Cb cap.)

Быстро надвигающееся кучево-дождевое облако (Cb) с развитой перистой вершиной (выше линии 1—2). При приближении Cb наблюдается шквально-листое усиление ветра, что заметно по наклону деревьев в (3).

ФОТО А. АНДРЕЕВА





Рис. 4.81. Кучево-дождевые волосатые облака (*Cumulonimbus capillatus*, Cb cap.).

Вершина кучево-дождевого облака имеет ярко выраженную волокнистую (волосатую) структуру (1). Под темным основанием облака различимы полосы падения осадков (2). Видны также отдельные кучевые облака в разной степени развития (3, 4).



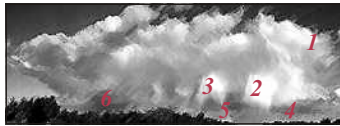


Рис. 4.82. Кучево-дождевые волосатые облака (*Cumulonimbus capillatus*, Cb cap.)

Вершина кучево-дождевого облака (Cb) имеет волокнистую структуру (например, в (1)). Под облаком — полосы выпадения осадков (2, 3). Белый цвет этих полос свидетельствует о том, что из облака выпадают ледяные кристаллы, которые тают при движении к земле и выпадают в виде дождя. На фоне осадков ярко выделяются первичная (4) и вторичная (5) радуги. Под основанием Cb — отдельные кучевые разорванные облака (Cu fr.) (6).



ФОТО А. САЕНКО

Рис. 4.83. Кучево-дождевые волосатые облака (*Cumulonimbus capillatus*, Cb cap.)

Выпадение осадков из кучево-дождевого облака (Cb) с темным основанием (1) хорошо заметно в (2). Под основанием облака — разорванные кучевые облака (например, в (3)). Вдали в (4) — кучево-дождевое лысое облако (Cb calv.), в (5) — сильно вытянутая ветром наковальня кучево-дождевого волосатого облака.





Рис. 4.84. Кучево-дождевые волосатые облака с накопью
(Cumulonimbus capillatus incus, Cb cap. inc.)

Вершина кучево-дождевого облака (Cb) достигла уровня устойчивой стратификации (1) и растекается, образуя накопью (2). Признаком волосатого облака является волокнистая структура вершины Cb. В (3) — высококучевые облака (Ac), образовавшиеся из кучево-дождевого облака.

ФОТО А. АНДРЕЕВА





Рис. 4.85. Кучево-дождевые волосатые облака с наковальней (Cumulonimbus capillatus incus, Cb cap. inc.)

Хорошо развитое по вертикали кучево-дождевое облако (Cb), в (1) — небольшая наковальня с волнистой структурой, в (2) — формирование второй наковальни. В (3, 4, 5) — отдельные кучевые разорванные (Cu fr.) и слоисто-кучевые облака (Sc).



ФОТО А. АНДРЕЕВА



Рис. 4.86. Кучево-дождевые волосатые облака с наковальной и вымеобразными провисами (Cumulonimbus capillatus incus mamma, Cb cap. inc. mam.).

Развитое кучево-дождевое облако, вершина которого имеет волокнистую структуру (1). Часть вершины растекается, формируя наковальню (2), под которой хорошо видны характерные вымеобразные провисы (3).

Указатель иллюстраций

Облака

Номер рисунка

Высококучевые (Alto cumulus, Ac)

1.4, 1.5, 1.12, 1.13, 1.14, 1.18, 2.23–2.31, 2.56,
2.73, 2.90, 2.91, 2.98, 2.99, 3.8, 4.29–4.46, 4.50, 4.84

башенковидные (castellanus, cast.)

2.30, 4.39, 4.40

из кучевых (cumulogenitus, cug.)

4.46, 4.80

слоистообразные (stratiformis, str.)

2.23–2.28, 4.29–4.36, 4.45

волнистые (undulatus, und.)

1.12, 2.27, 4.35

двойные (duplicatus, du.)

4.31

дырявые (lacunosus, lac.)

2.28, 4.36

непросвечивающие (opacus, op.)

2.26, 4.34

просвечивающие (translucidus, trans.)

2.24, 2.25, 2.56, 4.29–4.32

радиальные (radialis, rad.)

2.23, 4.33

с просветами (perlucidus, per.)

2.26, 4.33, 4.45

с полосами падения (virga, vir.)

4.45

хлопьевидные (floccus, floc.)

1.13, 1.14, 2.31, 2.73, 4.39–4.44

с полосами падения (virga, vir.)

2.73, 4.43, 4.44

чечевицеобразные (lenticularis, lent.)

2.29, 2.98, 2.99, 3.8, 4.37, 4.38

Облака

Номер рисунка

Высококучистые (Altostratus, As)	1.5, 2.32–2.35, 2.39, 2.67, 3.6, 3.11, 4.26, 4.47–4.52, 4.70
волнистые (undulatus, und.)	2.32, 2.35, 3.11, 4.26, 4.47, 4.48
непросвечивающие (opacus, op.)	2.34, 4.50–4.52
просвечивающие (translucidus, trans.)	2.32, 2.33, 2.67, 4.47, 4.49, 4.70
с выпадением осадков (praecipitatio, prae.)	4.49
радиальные (radiatus, rad.)	2.32, 4.48
Кучево-дождевые (Cumulonimbus, Cb)	1.5, 1.19, 2.57–2.62, 2.64, 2.68, 2.70–2.72, 2.74–2.77, 2.94, 3.3в, 3.10, 4.46, 4.68, 4.78–4.86
волосатые (capillatus, cap.)	2.57, 2.71, 4.46, 4.80–4.86
с вымеобразными провисами (mamma, mam.)	4.86
с наковальней (incus, inc.)	2.70, 2.71, 2.72, 4.84–4.86
лысые (calvus, calv.)	2.59, 2.64, 4.78, 4.79, 4.83
с грозным валом (arcus, arc.)	2.58, 2.76, 2.77
с полосами падения (virga, vir.)	2.74
с шапкой (pileus, pil.)	2.64
Кучевые (Cumulus, Cu)	1.4, 1.5, 1.9, 2.32, 2.35, 2.41, 2.49–2.57, 2.63, 2.65, 2.66, 2.68, 2.96, 2.97, 2.104, 2.105, 3.3, 3.8, 4.3, 4.5, 4.16, 4.17, 4.24, 4.38, 4.54, 4.67, 4.69–4.79, 4.81, 4.82, 4.86
мощные (congestus, cong.)	1.9, 2.53–2.55, 2.65, 2.66, 3.3, 4.75–4.78
с вуалью (velum, vel.)	2.65, 2.66
с выпадением осадков (praecipitatio, prae.)	2.55, 4.77
с шапкой (pileus, pil.)	2.66
плоские (humilis, hum.)	2.49, 2.50, 3.3а, 4.71, 4.72
разорванные (fractus, fr.)	2.32, 2.35, 2.51, 2.53, 2.57, 2.68, 4.17, 4.54, 4.69–4.72, 4.74, 4.77, 4.79, 4.81, 4.85

Облака	Номер рисунка
средние (<i>mediocris, med.</i>)	2.52, 2.53, 2.56, 2.63, 2.105, 3.36, 4.67, 4.72—4.75
радиальные (<i>radiatus, rad.</i>)	2.56
с шапкой (<i>pileus, pil.</i>)	2.63
Перисто-кучевые (<i>Cirrocumulus, Cc</i>)	1.4, 1.5, 1.16, 2.13—2.17, 3.11, 4.18—4.23, 4.44
башенковидные (<i>castellanus, cast.</i>)	4.19, 4.22
слоистообразные (<i>stratiformis, str.</i>)	2.13, 4.18, 4.20
волнистые (<i>undulatus, und.</i>)	2.13, 4.18, 4.19
дырявые (<i>lacunosus, lac.</i>)	4.20
хлопьевидные (<i>floccus, floc.</i>)	2.15, 2.16, 4.23, 4.44
с полосами падения (<i>virga, vir.</i>)	2.15, 4.44
чечевицеобразные (<i>lenticularis, lent.</i>)	2.14, 4.21
Перисто-слоистые (<i>Cirrostratus, Cs</i>)	1.5, 2.16, 2.18—2.22, 2.35, 2.85, 2.86, 2.89, 3.6, 4.16, 4.23—4.28, 4.32, 4.48
нитевидные (<i>fibratus, fib.</i>)	2.19, 2.35, 4.24—4.26
туманообразные (<i>nebulosus, neb.</i>)	2.18, 2.20—2.22, 3.6, 4.27, 4.28, 4.48
волнистые (<i>undulatus, und.</i>)	4.28
Перистые (<i>Cirrus, Ci</i>)	1.5, 1.17, 2.5—2.12, 2.17, 2.69, 3.4, 3.6, 4.1—4.17, 4.37, 4.73
башенковидные (<i>castellanus, cast.</i>)	4.13
когтевидные (<i>uncinus, unc.</i>)	2.5, 2.8, 2.9, 3.4, 3.6, 4.7, 4.8
радиальные (<i>radiatus, rad.</i>)	4.7
нитевидные (<i>fibratus, fib.</i>)	2.5—2.7, 2.17, 2.69, 4.1—4.6, 4.15
перепутанные (<i>intortus, int.</i>)	2.7, 2.17, 4.4, 4.5, 4.15

Облака	Номер рисунка
радиальные (radiatus, rad.)	2.5, 4.3
с вымеобразными провисями (mamta, mam.)	2.69
хребтовидные (vertebratus, vert.)	1.17, 4.6
плотные (spissatus, sp.)	2.10, 2.11, 4.9—4.12
хлопьевидные (flocus, floc.)	2.11, 2.12, 4.14—4.17
Слоисто-дождевые (Nimbostratus, Ns)	1.5, 1.20, 2.36, 3.6, 4.51—4.56
Слоисто-кучевые (Stratocumulus, Sc)	1.4, 1.5, 2.41—2.48, 2.103, 2.106, 4.61—4.68, 4.85
башенковидные (castellanus, cast.)	2.48, 4.66
образовавшиеся из кучево-дождевых (cumulonimbogenitus, cbg.)	4.68
образовавшиеся из кучевых (cumulogenitus, cug.)	2.41, 4.67
слоистообразные (stratiformis, str.)	2.42—2.47, 4.61—4.65
волнистые (undulatus, und.)	2.43, 2.44, 2.46, 4.65
двойные (duplicatus, du.)	2.45
непросвечивающие (opacus, op.)	2.43—2.45, 4.64, 4.65
просвечивающие (translucidus, trans.)	2.42, 2.106, 4.61—4.63
радиальные облака (radiatus, rad.)	4.61
Слоистые (Stratus, St)	1.5, 2.34, 2.36, 2.37—2.40, 2.67, 2.68, 2.102, 3.2, 4.47, 4.50, 4.51, 4.53, 4.54, 4.57—4.60, 4.70
волнистые (undulatus, und.)	2.40, 4.60
разорванные (fractus, fr.)	2.34, 2.36, 2.39, 2.67, 2.68, 4.47, 4.50, 4.51—4.53, 4.54, 4.70
туманообразные (nebulosus, neb.)	2.37, 2.38, 4.57—4.59

Список литературы

- Атлас облаков / Под ред. А. Х. Хргиана, Н. И. Новожилова. — Л.: Гидрометеиздат, 1978.
- Боровиков А. М. и др. Физика облаков / Под ред. А. Х. Хргиана. — Л.: Гидрометеиздат, 1961.
- Клосс Р., Фаси Л. Облака / Пер. с франц. — Л.: Гидрометеиздат, 1970.
- Лачинов Д. А. Основы метеорологии и климатологии. — Санкт-Петербург, 1895.
- Матвеев Л. Т. Физика атмосферы. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000.
- Мейсон Б. Д. Физика облаков / Пер. с англ. — Л.: Гидрометеиздат, 1961.
- Международный атлас облаков и состояний неба. Изд. 2-е, расширенное / Под ред. А. Ф. Дюбука. — М.: Гидрометеиздат, 1940.
- Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. I. — Л.: Гидрометеиздат, 1985.
- Облака и облачная атмосфера. Справочник / Под ред. И. П. Мазина, А. Х. Хргиана. — Л.: Гидрометеиздат, 1989.
- Зверева С. В. В мире солнечного света. — Л.: Гидрометеиздат, 1988.
- Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. — Л.: Гидрометеиздат, 1963.
- Burroughs W. J. et al. Ihmeellinen Luonto Sää. — Helsinki, 1998.
- International cloud atlas. Volume I. Revised edition 1975. Manual in the observation of clouds and other meteors (Partly Annex I to WMO Technical Regulations). WMO. — 1975. — No. 407.
- International cloud atlas. Volume II. — WMO, 1987.
- Kansainvälinen pilvikuvasto. — Valtineuvoston kirjapaino, Helsinki, 1958.
- Storm Dunlop. How to identify weather. — Harper Collins Publisher, 2002.
- The Cloud Atlas of China. — Science Press, Beijing, China; Gordon and Breach, Science Publishers, Inc, New York, 1984.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Краткие сведения о строении атмосферы, образовании облаков и осадков	6
1.1. Вертикальное строение атмосферы	6
1.2. Термодинамические процессы в тропосфере	8
1.3. Синоптические процессы в тропосфере	14
1.4. Образование облаков	16
Конвекция	17
Волновые движения	20
Турбулентное перемешивание	22
Восходящее скольжение теплого воздуха	23
1.5. Образование осадков	25
Глава 2. Международная классификация облаков	29
2.1. История создания классификации облаков	29
2.2. Современная классификация облаков	33
2.3. Перистые облака (Cirrus, Ci)	38
2.4. Перисто-кучевые облака (Cirrocumulus, Cc)	44
2.5. Перисто-слоистые облака (Cirrostratus, Cs)	48
2.6. Высококучевые облака (Alto cumulus, Ac)	52

2.7. Высочослоистые облака (Altostratus, As)	58
2.8. Слоисто-дождевые облака (Nimbostratus, Ns)	62
2.9. Слоистые облака (Stratus, St)	64
2.10. Слоисто-кучевые облака (Stratocumulus, Sc)	68
2.11. Кучевые облака (Cumulus, Cu)	74
2.12. Кучево-дождевые облака (Cumulonimbus, Cb)	80
2.13. Дополнительные формы и дополнительные особенности облаков.....	86
Шапки (pileus, pil.)	87
Вуаль (velum, vel.)	88
Клочки (pannus, pann.)	90
Вымя (mamma, mam.)	91
Наковальня (incus, inc.)	92
Полосы падения (virga, vir.)	94
Осадки (praecipitatio, prae.)	95
Грозовой вал (arcus, arc.)	96
2.14. Конденсационные следы (Cirrus tractus, Ci tr.)	98
2.15. Туманы	100
2.16. Оптические явления в облаках и осадках	104
Гало	104
Венцы	106
Иризация облаков	107
Глории	108
Радуги	108
2.17. Местные особенности облаков	110

Облака горных территорий.....	110
Облака над морем	115
Облака полярных территорий	117
Глава 3. Облачные системы, связанные с крупномасштабными атмосферными процессами	118
3.1. Облачная система теплого фронта.....	123
3.2. Облачные системы холодных фронтов	126
Облачная система холодного фронта I рода	127
Облачная система холодного фронта II рода	128
3.3. Облачные системы фронтов окклюзии	130
Облачная система фронта окклюзии по типу теплого фронта	131
Облачная система фронта окклюзии по типу холодного фронта.....	132
Глава 4. Атлас облаков	133
Указатель иллюстраций	220
Список литературы	224

Андреев Александр Олегович, Дукальская Мария Васильевна, Головина Елена Георгиевна
ОБЛАКА: ПРОИСХОЖДЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ, РАСПОЗНАВАНИЕ
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор О. В. Лапина. Художественное оформление А. О. Андреев.
Компьютерная верстка М. В. Дукальская.

ЛР № 020309 от 30.12.96

Подписано в печать 19.12.2006. Формат 108 × 70/16. Печать офсетная. Печ. л. 14,25. Тир. 1000 экз. Зак. 15/07.
РГТМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
ЗАО «НПП «Система», 195112, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 80/2.